



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM AMECAMECA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**EFFECTO DEL PROPIONATO DE CALCIO Y SODIO EN LA ALIMENTACIÓN DE
OVINOS EN FINALIZACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

LUCERO ABIGAIL VELÁZQUEZ CRUZ

COMITÉ DE TUTORES:

DR. PEDRO ABEL HERNÁNDEZ GARCÍA

DR. ENRIQUE ESPINOSA AYALA

DR. GERMÁN DAVID MENDOZA MARTÍNEZ

Amecameca de Juárez, Estado de México, Abril 2017

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del 1% de propionato de calcio (Pr Ca) o de sodio (Pr Na) por la sustitución del 10% de grano sobre el comportamiento productivo, fermentación ruminal, características de la canal y producción de gas *in vitro* de ovinos alimentados con una ración de finalización. Siguiendo un diseño completamente al azar, se utilizaron 27 ovinos machos criollos de 25.05 ± 5.0 kg de peso vivo, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en tres tratamientos: a) dieta control con 70.4% de grano + melaza (G+M); b) dieta con 1% de Pr Ca con 62.5% G+M; y c) dieta con 1% de Pr Na y 62.5% G+M). Se observó que el uso de Pr Ca y Pr Na mantiene las variables productivas como el peso final, consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y digestibilidad ($P>0.05$). No hubieron cambios en las variables ruminales, pH, ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal, sin embargo, se encontró diferencia significativa en lactato ($P=0.015$). Las características de la canal no mostraron diferencias en el peso, rendimiento, pH, color (L^* , a^* , b^* , croma y Hue) y la capacidad de retención de agua. En la producción de gas *in vitro* se encontró diferencia en la tasa de producción de gas ($P=0.03$) y en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca ($P=0.003$), sin embargo, no presentaron efectos el volumen máximo de gas producido y la fase Lag. Por lo cual, se concluye que el uso del 1% de Pr Ca o Pr Na puede sustituir el 10% de grano en dietas para ovinos en finalización sin modificar la respuesta productiva, las variables ruminales, las características de la canal y la producción de gas *in vitro* obteniendo las mismas ganancias de una dieta convencional.

Palabras clave: Gluconeogénicos, dietas altas en grano, corderos.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the effect of 1% of propionate calcium (Pr Ca) or sodium (Pr Na) by replacing 10% of grain on the productive performance, ruminal fermentation, characteristics of the channel and production of gas *in vitro* in feedlot lambs. (According to a design fully to the random, is used 27 lambs males creole of 25.05 ± 5.0 kg of weight alive, which were distributed randomly in three treatments: to) diet control with 70.4% of grain + molasses (G+M); (b) diet with 1% of Pr Ca with 62.5% G+M; (and c) diet with Pr Na 1% and 62.5% G+M). It was noted that the use of Pr Ca and Pr Na maintains productive variables as the final weight, dry matter intake, average daily gain, feed conversion and digestibility ($P > 0.05$). Not had changes in the variable ruminal, pH, acid fatty volatile and nitrogen ammonia, however, is found difference significant in lactate ($P = 0.015$). The characteristics of the channel showed no difference in performance, weight, color, pH (L^* , a^* , b^* , chroma and Hue) and water-holding capacity. *In vitro* gas production difference was found in the gas production rate ($P = 0.03$) and *in vitro* dry matter digestibility ($P = 0.003$), however, did not effect the maximum volume of gas produced and the Lag phase. By which, is concludes that the use of the 1% of Pr Ca or Pr Na can replace the 10% of grain in diets for in feedlot lambs without modify the response productive, them variable ruminal, them features of the channel and the production of gas *in vitro* getting them same earnings of a diet conventional.

Key words: Gluconeogenic, diets high in grain, lambs.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
2. ANTECEDENTES.....	- 3 -
2.1. Sistemas de producción de rumiantes en México	- 3 -
2.2. Sistemas de producción de ovinos en México	- 4 -
2.3. Granos y forrajes para la producción de ovinos en México	- 5 -
2.4. Características de los alimentos en la producción de ovinos	- 7 -
2.4.1. Carbohidratos	- 7 -
2.4.2. Carbohidratos estructurales.....	- 9 -
2.4.3. Carbohidratos no estructurales.....	- 9 -
2.5. El sistema digestivo y microorganismos de los ovinos	- 10 -
2.5.1. Degradación ruminal del almidón.....	- 13 -
2.6. Ácidos grasos volátiles	- 14 -
2.7. Gluconeogénesis	- 17 -
2.8. Uso de gluconeogénicos en rumiantes	- 18 -
2.9. Propionato	- 19 -
2.10. Uso de propionato en ovinos en finalización	- 20 -
3. JUSTIFICACIÓN.....	- 23 -
4. HIPÓTESIS	- 24 -
5. OBJETIVOS	- 25 -
6. MATERIALES Y MÉTODOS	- 26 -
6.1. Animales y dietas.....	- 26 -
6.2. Análisis del alimento	- 26 -
6.3. Análisis del crecimiento	- 27 -
6.4. Fermentación ruminal.....	- 28 -
6.5. Características de la canal	- 28 -
6.6. Análisis de producción de gas in vitro.....	- 29 -
6.7. Análisis estadístico	- 30 -
7. RESULTADOS	- 31 -
8. CONCLUSIONES GENERALES	- 64 -
9. SUGERENCIAS.....	- 65 -
10. LITERATURA CITADA	- 66 -

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Precio del maíz en grano en México (USD/Ton)	- 6 -
Figura 2. Clasificación de los carbohidratos.....	- 8 -
Figura 3. Clasificación de microorganismos ruminales	- 12 -
Figura 4. Síntesis de la glucosa.....	- 18 -
Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química de la dieta.....	- 27 -

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de granos, se debe en gran medida a la generación de biocombustibles derivados de los cultivos agrícolas, así como también al incremento de la población en general y la intensificación en los sistemas de producción para satisfacer las necesidades de dicha población (SAGARPA, 2013), aunado a otras condiciones como el clima en las zonas de producción impactan en los precios internacionales del grano (FIRA, 2014a).

Debido al aumento en la producción de los sistemas intensivos de rumiantes, se han ido disminuyendo progresivamente la proporción de fibra en las raciones, con el fin de maximizar los aportes energéticos al animal, al aumentar la cantidad de granos en las raciones (Mendoza *et al.*, 2007). Por lo cual el proceso de utilización de la energía en los rumiantes deben ser estudiados para buscar alternativas de manejo nutricional que permitan reducir las pérdidas e incrementar la energía retenida en productos utilizables (Mendoza *et al.*, 2008), tal es el caso del uso de precursores gluconeogénicos, implementados para reemplazar parcialmente los granos, como el glicerol (El-Nor *et al.*, 2010), propilen glicol (Ferraro *et al.*, 2009), así como propionato de sodio (Berthelot *et al.*, 2001) y propionato de calcio (Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016).

El propionato es la principal fuente de energía para los rumiantes, podría jugar un rol similar a la glucosa hepática en animales no rumiantes en el control del consumo alimenticio (Anil y Forbes, 1998), ya que se ha comprobado que un aumento de la disponibilidad de precursores gluconeogénicos aumentará la producción de glucosa (Veenhuizen *et al.*, 1988).

La suplementación de propionato en ovinos la han aplicado de diferentes maneras, ya sea, por medio de infusiones intraruminales (Martini y Baile, 1972; Villalba y Provenza, 1997a,b), infusiones intravenosas (Quigley y Heitmann, 1991; Cole y Hallford, 1994; Anil y Forbes, 1998; Lee y Hossner, 2002) e implementado en la dieta (Berthelot *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016), con la

finalidad de reducir la inclusión de grano en la ración, sin modificar los niveles energéticos que requieren los rumiantes.

El uso de propionato mediante la alimentación, da lugar al aumento en la concentración de ácido propiónico en el rumen sin que se vean afectadas las concentraciones del ácido acético y butírico (Liu *et al.*, 2009). La fermentación ruminal resulta en la degradación de los carbohidratos de la dieta en los ácidos grasos volátiles, los ovinos son totalmente dependientes de la gluconeogénesis, utilizando derivados del propionato, debido a esto, las dietas son formuladas para proporcionar adecuados suministros en la producción de glucosa (Bradford *et al.*, 2006), en previos estudios en ovinos se ha demostrado que el propionato, en dosis bajas (1 y 2%), puede ser utilizado para reemplazar parcialmente la energía suministrada por los granos implementados en las dietas de ovinos en finalización sin modificar la respuesta productiva (Mendoza *et al.*, 2016) con la disminución de hasta el 15% de granos en una dieta convencional (Lee *et al.*, 2012).

2. ANTECEDENTES

2.1. Sistemas de producción de rumiantes en México

Los sistemas de producción en México se dividen en extensivos o de pastoreo, intensivos, semi-intensivos o mixtos, los cuales se encuentran muy marcados por regiones, tipos de clima, así como también por el nivel tecnológico alcanzado (Sere y Steinfeld, 1996; Pérez *et al.*, 2011; Partida de la Peña *et al.*, 2013). Las pequeñas unidades o grandes compañías ganaderas, están fuertemente influidos por el entorno rural externo, incluyendo las políticas, instituciones, mercados y redes de información; así como, por recursos naturales básicos (clima y biodiversidad), el capital humano, social y financiero (Hall, 2001).

En los sistemas de pastoreo más del 90% de la materia seca suministrada como alimento procede de pastos, pastizales y forrajes anuales (Sere y Steinfeld, 1996), los cuales generalmente son manejados por productores de bajos ingresos y se consideran un elemento secundario utilizado como ahorro o para situaciones emergentes, así como se caracterizan por la ausencia de prácticas sanitarias, nutricionales y reproductivas (Macedo y Castellanos, 2004). En los sistemas pecuarios intensivos, los animales están separados de la tierra o de los pastizales que constituye la base de suministro de alimentos y de eliminación de desechos, dichos sistemas dependen de suministros externos de alimento, agua y otros insumos (Sere y Steinfeld, 1996), donde la alimentación principalmente está basada en el uso de concentrados en granos para el engorde intensivo (Mendoza *et al.*, 2007). Mientras que, en los sistemas mixtos, los cultivos y la actividad ganadera están integrados en la misma unidad de producción, siendo estos los más utilizados en la agricultura en pequeña escala de numerosos países en desarrollo (Macedo y Castellanos, 2004).

2.2. Sistemas de producción de ovinos en México

La ovinocultura en México se caracteriza principalmente por la producción de pequeñas explotaciones dirigidas por productores rurales, con escasos recursos y con bajos niveles de tecnología moderna y escasos accesos a insumos (Medrano, 2000); no obstante, la demanda de la carne ovina ha ido en aumento, lo que implica una mayor dependencia de importaciones, sin mencionar el efecto que esto causa en el precio interno de los ovinos y su carne, ubicándolos alrededor del doble de precio que los bovinos (Macedo y Castellanos, 2004; Partida de la Peña *et al.*, 2013). Siendo éstas algunas de las características que el mercado ha convertido en una oportunidad atractiva para intensificar los niveles de producción (De Lucas *et al.*, 2003); ya que se ha demostrado que los sistemas ganaderos intensivos son económicamente más competitivos que las explotaciones extensivas (Correal y Sotomayor, 1998). Desde la década de los noventa la ovinocultura ha dejado de ser una actividad en descuido, de traspatio y como reserva económica o fuente de ahorro, para transformarse en una actividad rentable y competitiva (Pérez *et al.*, 2011).

Los sistemas de producción de ovinos en México, van desde los sistemas extensivos, basados en el pastoreo, hasta sistemas intensivos, con dietas basadas en granos (Nuncio *et al.*, 2000; Mendoza *et al.*, 2007). Sin embargo, la producción ovina tiene características regionales y por lo tanto de nutrición y tecnificación, ya que los sistemas de alimentación se diferencian entre sí por el nivel y la distribución de la suplementación energético-proteica (Macedo y Alvarado, 2005).

La región norte del país basa su producción en razas especializadas productoras de carne y lana, bajo sistemas tecnificados. En la región centro el ganado ovino es especializado en producción de carne y en su mayoría son cruza de razas de lana (Suffolk y Hampshire) y de pelo (Blackbelly, Pelibuey, Cathadin y Dorper), se efectúa de manera importante en zonas marginadas en agostaderos y en terrenos agrícolas donde consumen los esquilmos agrícolas (Pérez *et al.*, 2011).

En la región sur y sur-sureste con características tropicales se emplean generalmente razas de pelo, la mayoría de las unidades de producción se encuentran bajo un sistema agrosilvopastoril, en el cual los ovinos pastorean de manera conjunta con otras especies de ganado o cultivos agrícolas (Vilaboa *et al.*, 2006).

Los sistemas de producción predominantes en el país son los de tipo semi-intensivo, basados en la estabulación, el uso de grano, así como, el empleo de razas pesadas y sus cruza con razas de pelo (Macedo y Castellanos, 2004). Éstos sistemas se caracterizan por lograr que los ovinos obtengan una alta ganancia diaria de peso y conversión alimenticia con una viabilidad económica sujeta a un alto precio de venta, así como al costo y disponibilidad del grano (Sánchez, 2001).

En los sistemas de alimentación intensivos, se han ido disminuyendo progresivamente la proporción de fibra en las raciones con el fin de maximizar los aportes energéticos al animal, al aumentar la cantidad de granos en las raciones. Sin embargo, los modelos actuales de alimentación recomiendan un mínimo de fibra para asegurar un correcto funcionamiento ruminal (Mendoza *et al.*, 2007). Cuando se trata de sistemas de producción intensivos donde la base de la alimentación son los granos, la digestión del almidón resulta de suma importancia, ya que más del 70% del peso seco de los cereales lo representa este polisacárido (Rojo *et al.*, 2007).

2.3. Granos y forrajes para la producción de ovinos en México

La principal comercialización de los granos es empleada para consumo pecuario, consumo humano e industrial (elaboración de biocombustibles). Por lo cual el mercado de los biocombustibles se vincula de manera importante al de los energéticos que, aunado a otras condiciones como el tipo de cambio y el clima en las en las zonas de producción, impactan en los precios internacionales y nacionales (Figura 1) del grano (FIRA, 2014a).

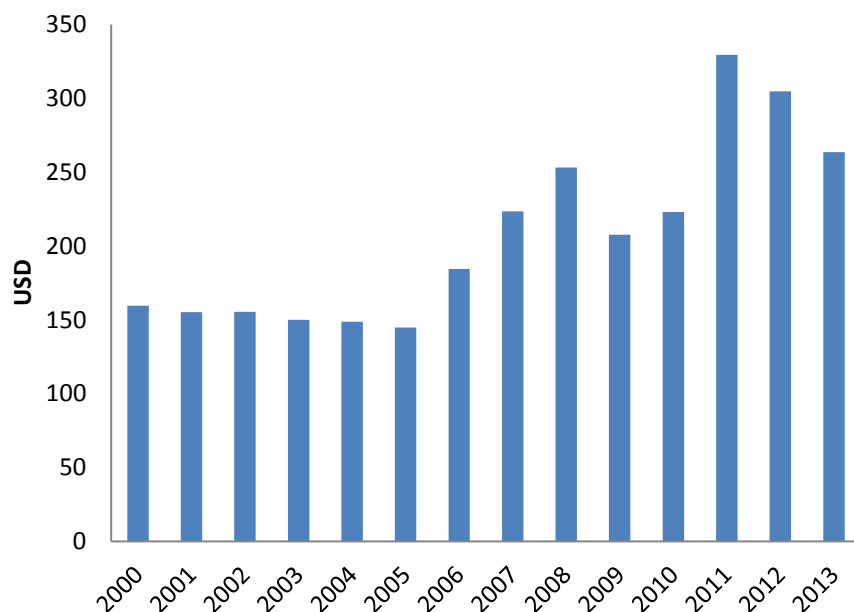


Figura 1. Precio del maíz en grano en México (USD/Ton) (FAOSTAT, 2015)

En el año 2007 se estima que en México la demanda de granos forrajeros para la alimentación ganadera es de 20,361.6 toneladas (SAGARPA, 2015), lo cual obedece a el aumento de la población en general, así como de la intensificación en los sistemas de producción para la obtención de alimentos con alto valor biológico para la alimentación humana (FIRA, 2014a).

Desde la perspectiva productiva, el maíz se ubica como el principal cultivo en comparación con los cereales cultivados en el territorio nacional, sorgo, trigo, cebada, arroz y avena. El maíz grano representa el 85% del volumen nacional de cereales y el 2.8 de la producción mundial. El valor de la producción de maíz durante 2012 fue de 88,489 millones de pesos, posicionándolo como el cultivo más importante en cuanto al valor de la producción agrícola, representando el 21.6% del valor total de la producción agrícola primaria del país (FIRA, 2014a). Así como también en México se destinan cerca de 2.0 millones de hectáreas al cultivo de sorgo, destacando que la producción y consumo están estrechamente

relacionados con la actividad ganadera, debido a su importancia como insumo en la alimentación animal (FIRA, 2014b).

La alimentación de los sistemas de producción de especies pecuarias está basada principalmente en los granos pero con una variación entre dichos sistemas. En los rumiantes se emplean más forrajes en las dietas debido a una mayor flexibilidad en la variación de la proporción de granos y forrajes (Lee, 2011).

2.4. Características de los alimentos en la producción de ovinos

2.4.1. Carbohidratos

Los carbohidratos son el componente principal de los tejidos vegetales, al constituir hasta el 70% o más de la materia seca de los forrajes de origen vegetal, mientras que en, los cereales presentan concentraciones más altas, superiores al 85% (Church *et al.*, 2002; Huntington *et al.*, 2006).

Con base a su estructura y función los carbohidratos (H_2OC) pueden clasificarse en polisacáridos de reserva (Figura 2), como el almidón, polisacáridos estructurales como la celulosa, hemicelulosa, y finalmente H_2OC simples o azúcares, entre los cuales encontramos mono y disacáridos (Relling y Mattioli, 2003).

En la nutrición animal los carbohidratos tienen como principal función servir como fuente de energía para los procesos vitales normales, los rumiantes al ser animales herbívoros, la composición de su ingesta depende de acuerdo con las especies que consumen y el estado de madurez de las plantas, dado que, los tejidos vegetales contienen monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, así como celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales son componentes importantes de las paredes de las celulares vegetales, principalmente la lignificación aumenta con la edad de la planta (Church *et al.*, 2002).

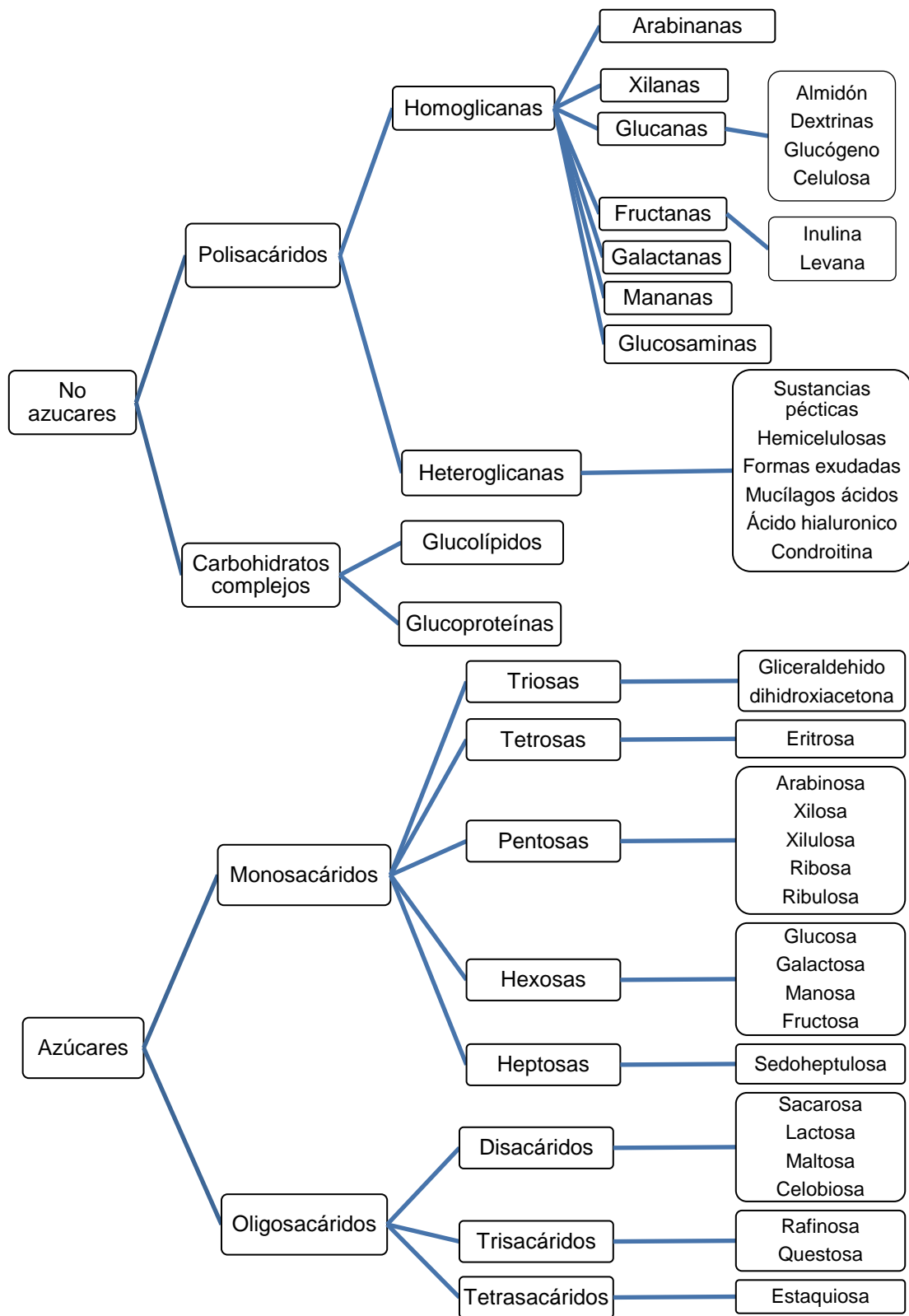


Figura 2. Clasificación de los carbohidratos (McDonald *et al.*, 1993)

2.4.2. Carbohidratos estructurales

La celulosa es un polisacárido (glucanas) que forma la estructura fundamental de las paredes celulares de las plantas y es el componente más abundante en los vegetales (Huntington *et al.*, 2006). La hemicelulosa, al igual que la celulosa, es un polisacárido de la pared celular, soluble en álcalis, estructuralmente está compuesta por moléculas de D-glucosa, D-galactosa, D-manos, D-xilosa y L-arabinosa, en distintas combinaciones y con diversos enlaces glucosídicos (Van Soest, 1994). La hemicelulosa de las gramíneas contiene una cadena principal de xilana, constituida por moléculas de xilosa con enlaces β (1-4) con cadenas laterales que incluyen ácido metilglucorónico y frecuentemente, glucosa, galactosa y arabinosa (McDonald *et al.*, 1993).

2.4.3. Carbohidratos no estructurales

El almidón es un polímero, el cual condensa glucosa con una proporción de átomos de C, H y O de 6:10:5, contienen moléculas de D-glucosa ordenadas como una cadena lineal con enlaces glucosídicos α 1-4 en la amilosa, o con ramificaciones que se inician en uniones glucosídicas α 1-6 en la amilopectina (Mendoza y Ricalde, 2017). Igualmente, todos estos enlaces en el almidón, por ser de tipo alfa, son desdoblados tanto por los microorganismos amilolíticos del rumen como por la amilasa pancreática del animal (Relling y Mattioli, 2003).

Los granos de cereales contienen entre un 70 a 80% de almidón, que se encuentra en el endospermo, formando gránulos compuestos principalmente por amilopectina, los cuales son protegidos por una doble barrera mecánica, el componente más abundante del almidón, cuya estructura ramificada, comprende zonas organizadas o cristalinas, compuestas por los residuos lineales de α 1-4 glucosa, y zonas amorfas ricas en residuos de α 1-6 glucosa o puntos de ramificación (McDonald *et al.*, 1993). El componente minoritario del almidón, la amilosa, se encuentra unido a la estructura de la amilopectina por puentes de hidrógeno, localizados fundamentalmente en las regiones amorfas (Guada, 1993).

Como poseen baja concentración de agua y aportan mucha energía en poco volumen, los granos se consideran un alimento concentrado energético (Church *et al.*, 2002), ya que contienen de 57 a 77% de materia seca (MS) de almidón como precursor de glucosa para los rumiantes (Huntington *et al.*, 2006).

La digestión del almidón de los granos en las raciones de rumiantes es prácticamente completa, existiendo no obstante diferencias según el tipo de grano, en cuanto a la proporción de almidón soluble (hidrolizado muy rápidamente), la fermentada en el rumen, y la digerida en tramos posteriores del aparato digestivo (Guerra, 2011).

2.5. El sistema digestivo y microorganismos de los ovinos

Los ovinos son rumiantes, ya que su aparato digestivo en donde al ingerir el alimento presenta una fermentación pregástrica (Rusell y Gahr, 2000), la cual es realizada por los microorganismos ruminales antes de ser expuesta a los compuestos químicos y a las enzimas gástricas y entéricas que intervienen en la digestión (Church *et al.*, 2002).

Los rumiantes son animales que se deben alimentar como mínimo dos veces al día, ya que el ecosistema ruminal es más eficiente si la fermentación es continúa a una velocidad constante (Rusell *et al.*, 1992). Los microorganismos no tienen la capacidad de almacenar nutrientes durante tiempos de abundancia para su uso cuando los nutrientes son limitados, su crecimiento por división y su metabolismo es más eficiente si se tienen los nutrientes necesarios (Rusell y Gahr, 2000).

El medio ruminal es un ecosistema con características definidas y poco variables, de naturaleza anaerobia, el cual contiene numerosas especies microbianas, siendo las más numerosas bacterias y protozoos, cumpliendo principalmente dos funciones: digestión de los alimentos ingeridos por los rumiantes y el aporte de nutrientes en forma de productos de fermentación (ácidos grasos volátiles) y proteína microbiana (Church, 1989).

La cantidad de bacterias que se hallan en el líquido ruminal es de 25^9 a 50^9 por mL en promedio, además se han identificado unas 35 especies de protozoarios ciliados, con aproximadamente de 20^3 a 500^3 por mL, la mayoría de los protozoarios ingieren bacterias, así como también, partículas de alimento; finalmente los microorganismos pasan al abomaso y a los intestinos para ser digeridos por enzimas que produce el hospedador con la principal función de proporcionar nutrientes para la subsistencia (Church *et al.*, 2002). Los microorganismos ruminales pueden ser organizados en 11 grupos (Figura 3), por sustrato y por preferencias de producto.

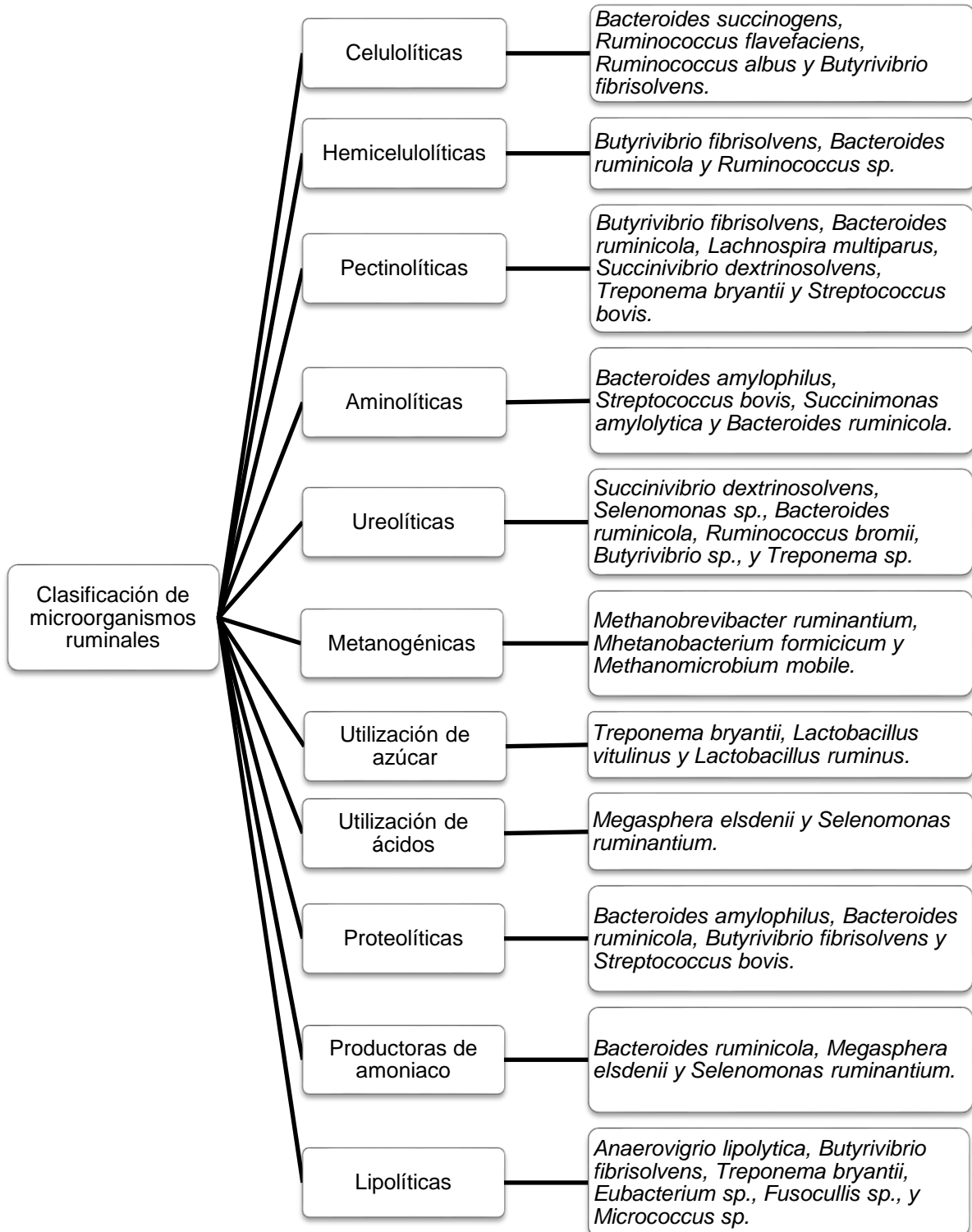


Figura 3. Clasificación de microorganismos ruminales (Rusell y Gahr, 2000)

2.5.1. Degradación ruminal del almidón

Se estima que el alimento consumido por los rumiantes entre el 60 y 90% es digerido en el rumen por la intervención de bacterias, protozoarios y hongos (Guerra, 2011). La hidrólisis del almidón en el rumen es el resultado de diversas amilasas microbiales que producen oligosacáridos, maltotriosa, maltosa y pequeñas cantidades de glucosa (Mendoza y Ricalde, 2017). Al ingresar con la dieta el almidón es aprovechado principalmente por las bacterias amilolíticas, por ejemplo, *Ruminobacter amylophilus*, *Prevotella ruminicola*, *Streptococcus bovis* y *Succinomonas amylolytica*, que lo desdoblan para consumir glucosa y producir por medio de la fermentación ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente propionato (Guada, 1993; Relling y Mattioli, 2003; Guerra, 2011).

Entre los procesos más estudiados para controlar la tasa y extensión de la degradación ruminal del almidón están el manejo del consumo de alimento, procesamiento de los granos y el uso de aditivos alimenticios como el uso de enzimas aminolíticas (Mora-Jaimes *et al.*, 2002). Considerando el grado de aprovechamiento del almidón de los granos para obtener el máximo de energía (Rojo *et al.*, 2007), ya que la intensidad de este proceso degradativo es variable y depende de la magnitud de la fracción potencialmente degradable y de su tiempo de retención en el rumen (Guada, 1993), así como también es determinada por la relación intrínseca de varios factores nutricionales; dentro de los que se encuentran el tipo o fuente de la dieta del almidón, composición química y nutritiva de la dieta, la cantidad de alimento consumido por unidad de tiempo, alteraciones mecánicas (grado de procesamiento y masticación) y fisicoquímicas (grado de hidratación y gelatinización) y finalmente el grado de adaptación de los microorganismo ruminales al sustrato que encuentran en el rumen para degradarlo (Rojo *et al.*, 2007; Guerra, 2011).

La degradabilidad del almidón depende de la relación amilosa:amilopectina y otro factor que afecta la digestión del almidón de los cereales es la presencia de una matriz proteínica alrededor del gránulo, la cual dificulta la acción de las enzimas digestivas (Kotarski *et al.*, 1992), siendo esta la

principal causa de la degradabilidad ruminal del almidón del maíz y sorgo, cuando son procesados intensamente (Huntington, 1997). Durante la gelatinización, los gránulos de almidón aumentan su absorción de agua, expandiéndose y por consiguiente exudan parte de la amilosa y aumentan su susceptibilidad a la hidrólisis enzimática (McDonald *et al.*, 1993).

Durante el molido y el aplastado en seco del grano, se produce una disminución del tamaño de partícula que aumenta la superficie de exposición de los gránulos de almidón al ataque enzimático, pero la acción mecánica del tratamiento es suficiente para producir un cierto grado de gelatinización que aumenta la susceptibilidad a la hidrólisis (Guada, 1993).

La digestibilidad del almidón en el rumen es elevada y la fracción que logra pasar al intestino puede ser degradado por la amilasa pancreática y así absorberse como glucosa. Esta última alternativa favorece al rumiante al aportarle una fuente directa de glucosa, que de otro modo debería sintetizar por gluconeogénesis hepática empleando el propionato absorbido en el rumen (Relling y Mattioli, 2003).

2.6. Ácidos grasos volátiles

El proceso digestivo en rumiantes involucra una serie de interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el animal hospedador (Russell y Gahr, 2000). La fermentación ruminal es el resultado de actividades físicas y microbiológicas que transforman los componentes de la dieta en productos utilizables para el rumiante (ácidos grasos volátiles, proteína microbiana y vitaminas del complejo B), y productos de desecho como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Wood *et al.*, 2004). La principal diferencia del metabolismo de los animales rumiantes con respecto a los no rumiantes es la capacidad de utilizar los ácidos grasos volátiles (AGV) como principal fuente de energía, ya que en estos entre el 50 y 80% de glucosa disponible a nivel celular proviene del metabolismo de los AGV (Bergman, 1990).

En procesos de fermentación eficientes que resultan en altas tasas de crecimiento de microorganismos, la mayor proporción de los carbohidratos digeridos se convierten en AGV (57%), seguido por incorporación directa en la biomasa microbial (24%) y producción de CH₄ (12%) (Wood *et al.*, 2004).

Los AGV, acético, propiónico y butírico, son productos de desecho del metabolismo de los microorganismos ruminales (Bergman, 1990). Los cuales son producidos en el rumen por la fermentación microbiana de dietas ricas en carbohidratos y proteínas, y finalmente absorbidos dentro del flujo sanguíneo principalmente a través de la pared del rumen (Ahring *et al.*, 1995). Una importante proporción de los AGV se utiliza directamente para la síntesis de biomasa microbial y por lo tanto la fracción que es absorbida en el rumen es variable y altamente dependiente de la tasa de crecimiento de los microorganismos ruminales (Beever, 1993).

La mayor parte de los microorganismos del rumen obtienen la energía de la fermentación de los azúcares (así como de los esqueletos carbonados de otros compuestos), esta utilización se inicia con los azúcares contenidos en los alimentos, prosigue con los resultantes de la hidrólisis del almidón y finaliza con los provenientes de la hidrólisis de la celulosa y de los restantes polisacáridos de las paredes celulares (Van Soest, 1994).

El ambiente ruminal al ser anaeróbico los microorganismos sólo disponen de la vía glucolítica para obtener energía, produciendo AGV, trifosfato de adenosina (ATP) y nicotinamida adenina dinucleótido (NADH + H⁺). Los microorganismos utilizan el ATP como fuente de energía y eliminan el AGV como un producto de desecho (Rusell y Gahr, 2000). Para poder degradar una segunda molécula de glucosa por la vía glucolítica necesitarán que el cofactor que se ha reducido (NADH + H⁺) sea nuevamente oxidado (NAD). Como el metabolismo microbiano es anaerobio y por lo tanto no existe una cadena respiratoria que acepte estos hidrogeniones, los microorganismos los transfieren a distintos aceptores o sumideros de hidrógeno. Uno de los más importantes es el carbono, originando la formación de CH₄. A pesar de que este compuesto posee energía

intrínseca no puede ser aprovechado por el rumiante, que no posee una ruta metabólica para degradarlo, y se pierde por eructos (France y Dijkstra, 2005; Huntington *et al.*, 2006).

Los AGV constituyen el 80% de la energía que desaparece del rumen, tanto por la absorción (80 a 90%), como por sobrepaso al omaso (10 a 20%); el 20% restante se elimina en forma de calor y como CH₄. Estos ácidos aportan entre 50 y 70% de la energía digestible del rumiante. Son diversos los factores que regulan su síntesis, concentración (que puede variar de 30 a 200 mm, aunque normalmente está entre 70 y 130 mm) y porcentaje relativo en dietas con altos contenidos en forraje (France y Dijkstra, 2005).

El factor que más influye en la composición de los AGV ruminales es la dieta, por lo tanto en dietas con gran cantidad de forraje, el patrón de fermentación ruminal está entre 65:25:10 y 70:20:10 (acetato, propionato y butirato, en porcentaje molar), mientras que cuando el contenido de concentrados es grande, las proporciones varían entre 45:40:15 y 50:40:10 (Ahring *et al.*, 1995). El pH ejerce una influencia importante sobre la producción total de AGV, ya que ésta baja al aumentar el pH del contenido ruminal (Wood *et al.*, 2004).

La porción de ácido acético se incrementa con la elevación del contenido en las paredes celulares de la ración (dietas ricas en fibra), mientras que el ácido propiónico se eleva con la presencia de almidón en la dieta (granos) y la del ácido butírico cuando ésta contiene alimentos muy ricos en glúcidos solubles o proteínas (Jarrige, 1990; Lascano, 2002). La formación de CH₄ será mayor con la producción de acetato, menor con la producción de butirato y en cambio se consumen hidrogeniones durante la síntesis de propionato (Wood *et al.*, 2004). Una dieta suplementada con almidón es más eficiente desde el punto de vista energético, incrementando la producción total de AGV (Church *et al.*, 2002).

2.7. Gluconeogénesis

La gluconeogénesis se ha establecido como un término utilizado para incluir todos los mecanismos y vías responsables de la conversión de los no carbohidratos a glucosa o glucógeno, utilizando como principales sustratos los aminoácidos glucogénicos, lactato, glicerol, y propionato (Mayes, 2001; Drackley *et al.*, 2001; Ortega y Mendoza, 2003).

Los principales tejidos involucrados en realizar la gluconeogénesis son el hígado y riñón, ya que ambos tienen una dotación completa de las enzimas necesarias para éste proceso (piruvato carboxilasa, fosfoenolpiruvato carboxicinas, fructuosa 1, 6-bifosfatasa y glucosa 6-fosfatasa) (Mayes, 2001; Aschenbach *et al.*, 2010; Noro y Wittwer, 2012). El hígado es el principal órgano formador de glucosa ya que llega a sintetizar hasta el 85 a 90% del total cuando se emplean dietas ricas en fibra empleando a los gluconeogénicos como principales sustratos, el aporte de cada uno depende del balance energético de la dieta ingerida por el animal (Relling y Mattioli, 2003). El propionato es el único ácido graso glucogénico producido en la digestión de los carbohidratos por rumiantes, así como también el principal precursor hepático, a partir del cual se sintetiza del 25 al 55% de la glucosa, dependiendo de su producción ruminal, de modo que este porcentaje llega al 65% cuando la dieta es rica en almidón (Drackley *et al.*, 2001).

Debido a que la mayor parte de la glucosa consumida por los rumiantes es convertida en AGV en el rumen, la cantidad de glucosa que llega intacta al intestino y logra ser absorbida es muy limitada (Ortega y Mendoza, 2003). Esta fracción cubre apenas del 5 al 15% de los requerimientos cuando la dieta es rica en fibra y llega al 30% si ésta es rica en almidón con capacidad pasante (Mayes, 2001). Estas características hacen que los rumiantes deban sintetizar la glucosa que necesitan (Figura 4) a partir de compuestos no glucídicos (Ortega y Mendoza, 2003). La importancia de la gluconeogénesis en rumiantes de pastoreo alimentados principalmente con forrajes, se debe a que el organismo del animal absorbe cantidades insignificantes de glucosa por el tracto digestivo y su

capacidad de almacenamiento de glucógeno en el hígado es limitada (Noro y Wittwer, 2012).

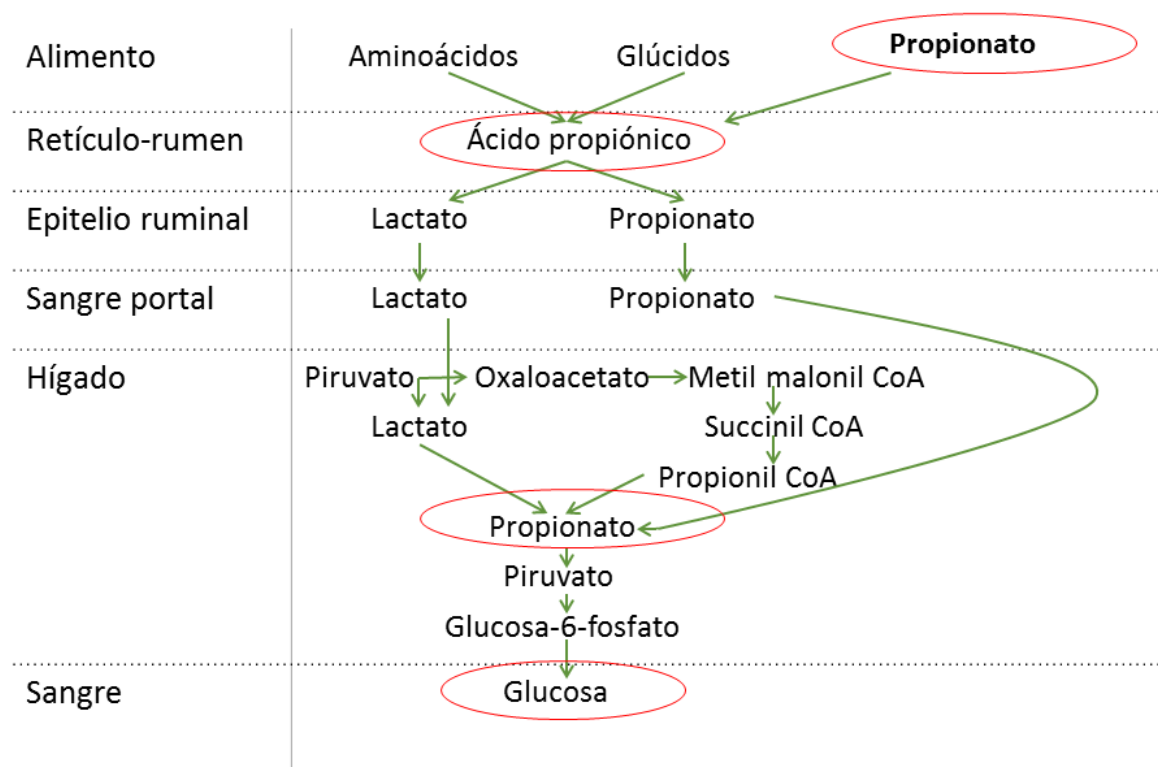


Figura 4. Síntesis de la glucosa (Mayes, 2001; Aschenbach *et al.*, 2010)

2.8. Uso de gluconeogénicos en rumiantes

Debido al incremento en el costo de los granos en todo el mundo se han realizado diversos estudios para remplazar parcialmente a éstos, como es el uso de precursores gluconeogénicos, tales como glicerol (El-Nor *et al.*, 2010), propilenglicol (Ferraro *et al.*, 2009), propionato de sodio (Berthelot *et al.*, 2001) y calcio (Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2105).

El-Nor *et al.* (2010) realizaron un estudio en vacas Holstein al adicionar varios niveles de glicerol en cuatro dietas, con la finalidad de reducir el contenido de granos en las raciones, encontraron que al sustituir los granos con niveles bajos de glicerol, no se tienen efectos adversos en la fermentación, digestión o en

las bacterias ruminales, sin embargo en dietas con altos niveles de glicerol encontraron que afectan a la digestión de fibra y la población ruminal, así como un impacto negativo de la producción de acetato.

Por otra parte, han realizado estudios en cuanto al uso de propilenglicol (Ordoñez *et al.*, 2007), empleado como precursor gluconeogénico contra la cetosis, suministrado por vía oral, con la finalidad de aumentar el porcentaje molar de propionato ruminal en el ganado lechero durante el post-parto, al presentarse un déficit de balance energético debido a la cetosis, tras la administración de propilenglicol, éste será metabolizado a propionato. Encontraron una respuesta reproductiva al aumentar la calidad del cuerpo lúteo así como de progesterona en novillas utilizadas para la implantación de embriones.

Por su parte Ferraro *et al.* (2009) realizaron un estudio para analizar tres fuentes de energía en rumiantes, tales fueron glicerol, propilenglicol y melaza en ovejas; con lo cual determinaron la fermentación de dichos gluconeogénicos, así como la producción de gas, reportando que de la fermentación de glicerol resultó una reducción de acetato (536 mmol/mol) y un incremento en el porcentaje de butirato (289 mmol/mol), mientras que con propilenglicol redujo el acetato (423 mmol/mol) y butirato (63 mmol/mol), sin embargo el propionato aumentó (512 mmol/mol). El aumento de dosis de fuentes de energía resulta en un mayor volumen de gas producido. La fermentación de glicerol reducido y el aumento de la proporción molar de butirato y propionato eran el producto principal de la fermentación de propilenglicol. El glicerol procedente de la movilización lipídica, origina glucosa tanto en el hígado como en los riñones (Zorzano, 1991). Principalmente en periodos de ayuno o de elevado requerimiento, la gluconeogénesis vía glicerol aumenta, con la degradación de las reservas lipídicas

2.9. Propionato

El propionato es el único de los tres AGV que puede ser convertido en glucosa, siendo éste el primer precursor gluconeogénico, adquiere gran importancia en la nutrición de los rumiantes, quienes deben sintetizar la mayor parte de la glucosa

que necesitan mediante la alimentación (Mayes, 2001; Bradford *et al.*, 2006). Esto se debe a que es el segundo AGV más abundante tanto en rumen como en sangre (Sano *et al.*, 1993). En dietas es formulado para proporcionar adecuados suministros en la producción de glucosa (Bradford *et al.*, 2006).

El metabolismo del propionato por el rumiante ocurre principalmente en el hígado (Bradford y Allen, 2007), una vez convertido en propionil-CoA y se carboxila para generar D-metil-malonil-CoA, proceso catalizado por la propionil-CoA carboxilasa (Zorzano, 1991). El lactato, proveniente de la glucólisis anaeróbica y del propionato metabolizado en el epitelio ruminal, origina glucosa vía ciclo de Cori, entrando al ciclo de Krebs como piruvato, que es carboxilado a oxalacetato, mientras tanto, el propionato entra al ciclo de Krebs vía succinil-CoA (Noro y Wittwer, 2012). El propionato puede ser utilizado por gluconeogénesis u oxidado, las tasas de ingreso del propionato probablemente exceden la capacidad de enzimas gluconeogénicas en animales alimentados con dietas altamente fermentables, y los excesos del propionato pueden ser oxidados después de la conversión a acetil-CoA (Bradford *et al.*, 2006).

Por su parte Drackley *et al.* (2001), mencionan que el propionato es el principal precursor hepático, a partir del cual se sintetiza del 25 al 55% de la glucosa, dependiendo de su producción ruminal, de modo que este porcentaje llega al 65% cuando la dieta tiene un alto contenido en almidón. A partir del lactato, el hígado sintetiza del 5 al 15% de la glucosa. El lactato proviene mediante la absorción ruminal, que incluye el producido por la flora microbiana y el formado en la pared ruminal a partir del propionato absorbido, estimaciones realizadas por Seal y Reynolds (1993) indican que el propionato suministra de 32 a 73% de las demandas de glucosa.

2.10. Uso de propionato en ovinos en finalización

La suplementación de propionato en borregos se ha empleado de diferentes maneras, ya sea, por medio de infusiones intraruminales (Martini y Baile, 1972; Villalba y Provenza, 1997a, b), infusiones intravenosas (Quigley y Heitmann, 1991;

Cole y Hallford, 1994; Anil y Forbes, 1998; Lee y Hossner, 2002) e implementado en la dieta (Berthelot *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016).

Diversos estudios han sugerido al acetato y propionato para posibles funciones en el sistema de retroalimentación en el hambre-saciedad de los rumiantes (Martini y Baile, 1972; Sano *et al.*, 1993). Ya que el propionato es un producto del metabolismo ruminal de los carbohidratos, puede deprimir el consumo de alimento en rumiantes. Aunque el mecanismo para la respuesta de la hipofagia no es nuevo, se ha demostrado que el hígado es el implicado (Bradford y Allen, 2007). Se encontró que al realizar inyecciones intrarruminales de acetato y propionato en el saco dorsal de ovejas y cabras causaron una disminución en el consumo de alimento, ya que han indicado que los cambios en la concentración de fluido ruminal de AGV pueden jugar un papel en el control de la ingesta del alimento de los rumiantes (Martini y Baile, 1972; Villalba y Provenza, 1997a, b). Sin embargo, Moss *et al.* (2000) indican que con dietas altas en almidón se favorece la producción de propionato y se disminuye la relación entre CH₄ y materia orgánica fermentada en el rumen.

En cuanto a estudios realizados mediante administraciones de propionato intraportal (Anil y Forbes, 1998), se determinó que deprime el consumo de alimento en ovejas, ya que ésta acción es dependiente únicamente de una inervación hepática, al ser el propionato la única fuente de energía en rumiantes, podría jugar un rol similar a la glucosa hepática en animales no rumiante en el control del consumo alimenticio. Veenhuizen *et al.* (1988) han comprobado que un aumento de la disponibilidad de precursores gluconeogénicos aumentará la producción de glucosa.

La suplementación de propionato mediante la alimentación, da lugar al aumento en la concentración de ácido propiónico en el rumen sin que se vean afectadas las concentraciones de AGV, como el ácido butírico e isovalérico (Liu *et al.*, 2009). Mientras que para Van Houtert *et al.* (1993) la suplementación de propionato afecta el flujo de la glucosa, la deposición de grasa y el crecimiento de musculo en borregos. La fermentación ruminal resulta en la degradación de los

carbohidratos de la dieta en AGV, los rumiantes son totalmente dependientes de la gluconeogénesis, utilizando derivados del acético y propiónico, es una fuente de la circulación de la glucosa (Bradford *et al.*, 2006). La adición excesiva de energía puede derivar en tejido adiposo, cuando el acético y el propiónico son convertidos en lípidos mediante la lipogénesis. (Berthelot *et al.*, 2001; Lee y Hossner, 2002).

Sin embargo, se ha demostrado que la adición de grano a la dieta incrementa el aporte de almidón y cambios en la fermentación del rumen (Christophersen *et al.*, 2008). Dependiendo del tipo de dieta se puede reducir el tiempo de retención, principalmente cuando contienen alta cantidad de granos en la dieta, ya que el tiempo de retención es más corto comparado con el forraje, así como la producción de CH₄ generalmente es reducida, esta disminución es indicada por un nivel acetato:propionato, y el nivel de pH (Lana *et al.*, 1998). El propionato de calcio podría ser utilizado para reemplazar parcialmente la energía suministrada por los granos implementados por lo general en las dietas de finalización de corderos (Lee *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

Desde el año 2008, se ha observado un incremento en los precios internacionales de los granos, tal situación se debe al incremento de los precios del petróleo y sus derivados, situación que ha llevado a emplear los granos para la producción de bioenergéticos, así como empleados para la producción de materias primas y alimentos de uso humano, este escenario ha generado que los sistemas de producción animal se vean en riesgo económico, ya que los granos son un insumo indispensable para los sistemas de producción de carne y leche, además de que son alimentos altamente energéticos e indispensables para los sistemas de engorda y finalización en sistemas semiestabulados y estabulados. Por otra parte, los rumiantes han evolucionado para optimizar los forrajes y así producir carne y leche, a pesar de esta ventaja evolutiva, los sistemas de producción de carne requieren el uso de granos ricos en almidón ya que este compuesto a nivel ruminal sirve para la producción de microorganismos ruminales y la liberación de ácidos grasos volátiles, principalmente ácido propiónico, el cual tiene un alto potencial gluconeogénico siendo el glucógeno un elemento necesario para la formación de músculo y grasa. Para optimizar los sistemas de producción de carne de los rumiantes se deben idear estrategias de alimentación con un balance adecuado de energía y proteína, siendo los granos un ingrediente relevante en las raciones, aunque como se ha comentado con anterioridad, los granos presentan elevados costos y una menor disponibilidad debido a que son empleados para la alimentación humana, la obtención de materias primas y de bioenergéticos, por tal motivo, se deben idear alternativas para sustituir la cantidad de granos en las raciones, esto sin afectar los parámetros productivos y sin incrementar los costos de alimentación. Una opción para sustituir el uso de los granos es emplear compuestos gluconeogénicos como es el glicerol, el propilenglicol y el propionato de calcio y de sodio, estos compuestos tienen el potencial de sustituir a nivel ruminal el ácido propiónico derivado de la degradación de los almidones, esto sin generar cambios en la fisiología ruminal, y manteniendo los niveles productivos.

4. HIPÓTESIS

La sustitución del 10% de grano por la adición de 1% de propionato de calcio o de sodio, mantiene el comportamiento productivo, las variables ruminales, características de la canal y producción de gas *in vitro* con respecto a una dieta convencional.

5. OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto en la sustitución del 10% de grano por 1% de propionato de calcio o de sodio en una ración para corderos en finalización, considerando los aspectos del comportamiento productivo, fermentación ruminal, características de la canal y producción de gas *in vitro*.

Específicos

- Analizar el efecto de la sustitución de grano por propionato de sodio y de calcio en cuanto a las variables productivas (consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia) en ovinos en finalización.
- Determinar la producción de gas *in vitro* de las dietas adicionadas con propionato de sodio y de calcio.
- Evaluar los cambios en el patrón de fermentación ruminal por efecto del propionato de sodio y de calcio.
- Comparar las características de la canal, por efecto de la adición de propionato de sodio y de calcio en dietas para ovinos en finalización.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones de la Posta Zootécnica del Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. Este trabajo se llevó a cabo bajo los lineamientos establecidos por el Comité Académico del Departamento de Ciencia Animal, de acuerdo con las regulaciones establecidas por la Ley de Protección Animal del Estado de México, México.

6.1. Animales y dietas

El periodo experimental tuvo una duración de 42 días, empleando 27 ovinos machos criollos de 25.05 ± 5.0 kg de peso vivo inicial, los cuales se desparasitaron (Closantel y Albendazol en una dosis de 4.0 ml/animal) y vitaminaron (A, D y E en una dosis de 0.5 ml/animal), previo al inicio del experimento. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y nueve repeticiones (ovinos). Los corderos se alojaron en corraletas individuales equipadas con comederos y bebederos, donde recibieron un periodo de adaptación de 10 días a la dieta experimental, la cual se ofreció dos veces al día (9:00 y 16:00 h).

Las dietas experimentales se formularon siguiendo los requerimientos del NRC (2007), con una relación forraje:concentrado (F:C), 17:83, para la dieta testigo (0 g de PCa o PNa/kg MS) y otra dieta que contenía (F:C, 22.5:77.5), para la inclusión de 10 g de PCa o PNa /kg MS, reduciendo así el 10% de grano (Cuadro 1).

6.2. Análisis del alimento

A la dieta experimental se le determinó su composición química; materia seca (MS), cenizas (C) y nitrógeno total (NT) (AOAC, 2005), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), empleando la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991).

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química de la dieta

	Inclusión de propionato %		
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na
<i>Ingredientes (% , inclusión de la MS)</i>			
Maíz, grano	31.9	16	16
Sorgo, grano	32.5	35.5	35.5
Soya, pasta	10.2	11.5	11.5
Melaza	6	11	11
Maíz, rastrojo	17	22.5	22.5
Urea	1	1	1
Premezcla mineral [†]	0.7	0.5	0.5
Buffer	0.7	1	1
Propionato de Calcio [‡]	0	1	0
Propionato de Sodio [∞]	0	0	1
<i>Composición química</i>			
Materia Seca (%)	89.15	89.35	89.52
Cenizas (%)	4.73	5.96	6.2
Materia orgánica (%)	84.397	83.334	83.353
Proteína Cruda (%)	14.52	14.49	14.49
Fibra Detergente Neutro (%)	14.670	18.019	17.893
Fibra Detergente Ácido (%)	7.330	9.344	10.376

Pr Ca, Propionato de Calcio; Pr Na, Propionato de Sodio; MS, Materia Seca;

[†]Premezcla mineral, Ca 270 g, P 30 g, Na 0.65; [‡]Ácido propiónico 780 g, Ca 220 g; [∞]Ácido propiónico 800 g, Na 200 g.

6.3. Análisis del crecimiento

Las variables a evaluar en los corderos fueron el consumo de materia seca (CMS), determinado mediante el peso del alimento ofrecido y el rechazado, los ovinos se pesaron al inicio del experimento, posteriormente cada 14 días y al finalizar el

experimento con la finalidad de obtener la ganancia diaria de peso (GDP), mediante las variables mencionadas se determinó la conversión alimenticia, además de la ganancia total de peso y peso al sacrificio. Al día 26 del experimento se colectaron heces de cada animal, para determinar la digestibilidad total de la materia seca mediante la técnica de cenizas ácido insolubles (van Keulen y Young, 1977).

6.4. Fermentación ruminal

En el último día del experimento, se obtuvieron 50 ml de fluido ruminal mediante una sonda esofágica, de forma preprandial de cada cordero, para determinar el efecto del tratamiento sobre los parámetros de la fermentación del rumen, los cuales fueron, pH empleando un potenciómetro (marca Orion Star, modelo A215), el líquido ruminal se acidificó con ácido metafosfórico (25% p/v) en una relación 4:1 para posteriores análisis. La concentración de AGV mediante la técnica de cromatografía de gases (Erwin *et al.*, 1961) por medio de un cromatógrafo de gases (Perkin Elmer Clarus 580) utilizando una columna capilar de 30 m x 0,25 mm x 0.25 μ m (Agilent Technologies, modelo HP-FFAP) y nitrógeno como gas acarreador, el contenido de N-NH₃, mediante el método de hipoclorito de fenol (McCullough, 1967) y lactato (Madrid *et al.*, 1999) empleando un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS), los cuales fueron analizados en las instalaciones del Laboratorio Multidisciplinario de Investigación del Centro Universitario UAEM Amecameca.

6.5. Características de la canal

Concluido el periodo de finalización de los ovinos, se sacrificaron cinco animales de cada tratamiento para obtener las variables de rendimiento en canal, pH mediante un potenciómetro portátil provisto de un electrodo de penetración y con compensación de temperatura automática (Hanna Instruments, modelo HI 99163), empleando la técnica de Honikel (1998), colorimetría por medio de un colorímetro

tricomático marca Konica Minolta, modelo Chroma Meter CR-400, el grosor de la grasa dorsal se midió con un vernier manual en el cual se realizó una incisión perpendicular a cuatro centímetros del borde posterior de la doceava costilla (Cañeque y Sañudo, 2000); capacidad de retención de agua, la cual se determinó mediante la técnica de pérdida de agua por cocción y pérdida de agua por presión (Cañeque y Sañudo, 2005).

6.6. Análisis de producción de gas *in vitro*

Por otra parte, se realizó la técnica de producción de gas *in vitro* de Theodorou *et al.* (1994), donde se tomaron muestras de las dietas experimentales ofrecidas, la cual consiste en introducir 0.5 g de muestra de alimento en frascos de vidrio ámbar con capacidad de 125 ml; se agregó 90 ml de líquido ruminal estandarizado con un flujo continuo de CO₂ y se cerraron herméticamente, el líquido ruminal se obtuvo de una vaca Holstein fistulada, el cual se filtró con gasas y se mezcló con una solución mineral reducida en proporción de 1:9 v/v. La solución mineral reducida provee minerales y nutrientes al medio acuoso *in vitro* para el proceso fermentativo. Los frascos se colocaron en un baño maría a 39°C y se midió la presión de gas a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60, 72 h de incubación, mediante un manómetro digital. Las lecturas de presión (kg/cm²) se transformaron a volumen de gas (Vo) y tiempo de incubación (t) obtenidos se usaron para obtener el volumen máximo de gas producido (Vm), fase lag (L) y tasa de producción de gas (S), utilizando el modelo logístico de Menke y Steingass (1988):

$$Vo = Vm / (1 + \exp (2 - 4 * s * (t L)))$$

Al final de la incubación se filtró el contenido de los frascos para así obtener la materia seca residual y calcular la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

6.7. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados siguiendo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y 9 repeticiones (unidades experimentales, ovinos), para esto se utilizó el JMP del SAS (Sall *et al.*, 2012), siguiendo el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = La variable respuesta en tratamiento i, repetición j;

μ = La media general;

τ_i = El efecto del i-ésimo tratamiento (i: 1, 2 y 3);

ε_{ij} = El efecto del error experimental

La comparación de medias será por la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos tras esta investigación son un artículo científico, titulado “Effect of including calcium propionate or sodium propionate in lambs’ feedlot diets” el cual fue enviado a la revista Animal Production Science, además de la publicación de un capítulo de libro titulado “Efecto en la adición de propionato de calcio y de sodio por la sustitución de grano en el comportamiento productivo de ovinos en finalización” el cual fue publicado en el libro electrónico Perspectivas y avances de la producción animal en México de la Universidad de San Luis Potosí, Lee Rangel, Ramírez Tobías y Roque Jiménez, Editorial Universitaria Potosina, ISBN 978-607-9453-73-2.

Animal Production Science - Manuscript AN17133

domingo, marzo 5, 2017, 5:08 pm ● ☆

De: "Animal Production Science" <onbehalfof+editorial.an+csiro.au@manuscriptcentral.com>

A: lucero.mvz.vel@gmail.com pedro_abel@yahoo.com gmendoza@correo.xoc.uam.mx enresaya1@hotmail.com hector_lee@uaslp.mx más...

[Encabezados completos](#) [Vista imprimible](#)

06-Mar-2017

Dear Dr Hernandez Garcia

Your manuscript entitled 'Effect of including calcium propionate or sodium propionate in lambs' feedlot diets' has been successfully submitted online and will be given full consideration for publication in Animal Production Science.

Your manuscript ID is AN17133. Please mention this manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions.

If there are any changes in your street address or email address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc.manuscriptcentral.com/csiro-an> and edit your details as appropriate. You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Centre after logging in.

Thank you for submitting your manuscript to Animal Production Science.

Sincerely,

Editorial Office, Animal Production Science

Effect of including calcium propionate or sodium propionate in lambs' feedlot diets

Lucero A. Velázquez-Cruz^A, Pedro A. Hernández-García^B, Germán D. Mendoza-Martínez^C, Enrique Espinosa-Ayala^B, Héctor A. Lee-Rangel^D, Ofelia Márquez Molina^B

^A Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México

^B Centro Universitario UAEM Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca, Estado de México, 56900, México

^C Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, D.F., 04960, México

^D Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, 78321, México

Short title: Calcium propionate and sodium feedlot diets

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of the inclusion of calcium propionate (Pr Ca) or sodium propionate (Pr Na) on the productive performance in feedlot lambs, carcass characteristics, and some variables of ruminal fermentation. Twenty-seven creole lambs with initial weight of 25.05 ± 5.0 kg were allotted in a completely randomised design with three diets (dry basis): a) a control diet with 70.4% of grain + molasses (G+M); b) 1% Pr Ca with 62.5% G+M; and c) 1% of Pr Na and 62.5% G+M. Diets were also evaluated with the *in vitro* gas production technique. The replacement of G+M with Pr Ca or Pr Na did not affect the productive lamb performance in feedlot (dry matter intake, average daily gain, and feed conversion) or the apparent dry matter digestibility ($P > 0.05$), and there were no changes in rumen pH, volatile fatty acids, and ammonia nitrogen concentration. However, lactate concentration increased with Pr Na, was intermediate with Pr Ca, and was lower with the control diet. Carcass characteristics were not affected by treatments (weight, yield, pH, L^* , a^* , b^* , chroma and hue, water capacity retention). The *in vitro* gas production rate was higher in the control diet ($P = 0.03$), but the maximum volume was similar among diets. The results indicate that 10% of grain can be reduced with 1% of Pr Ca or Pr Na in lambs finishing without affecting productive performance or carcass characteristics.

Key words: calcium propionate, sodium propionate, lambs, feedlot

Introduction

Various studies have been conducted using alternative sources to partially replace the grains in lambs' feedlot diets with gluconeogenic precursors, such as propylene glycol (Ferraro *et al.*, 2009), glycerol (El-Nor *et al.*, 2010), sodium propionate (Pr Na) (Berthelot *et al.*, 2001), and calcium propionate (Pr Ca) (Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016). This replacement of grain is possible because these gluconeogenic compounds promote ruminal propionate, which is the main glucose precursor for the ruminant, whereas the concentrations of acetic and butyric acid are not altered (Liu *et al.*, 2009). Propionate salts allow the partial replacement of energy from starch in lambs' feedlot diets (Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016).

Pr Ca has been included in lambs' feedlot diets without affecting performance or intake in levels ranging from 1 to 2% (Majdoub *et al.*, 2003; Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016), and in one experiment with inclusion of 5% Pr Na the intake was not reported (Berthelot *et al.*, 2000). Mendoza *et al.* (2016) estimated a value of 3.76 Mcal kg⁻¹ of metabolisable energy (ME) of Pr Ca, and based on the diet composition reported by Berthelot *et al.* (2000), the Pr Na value is estimated at 2.3 Mcal kg⁻¹ of ME. Given that the two salts would have a similar metabolism but that the information on Pr Na is scarce, the objective of this study was to compare Pr Na and Pr Ca in feedlot lambs' diets in the productive performance in feedlot lambs, carcass characteristics, and some variables of ruminal fermentation.

Materials and methods

The experiment was conducted at the facilities of the experimental station of the Campus Amecameca UAEM at the Autonomous University of the State of Mexico. The study was conducted under the guidelines established by the Academic and Ethics Committee from the Department of Animal Science in accordance with the regulations laid down by the Law of Animal Protection of the State of Mexico.

Animals and diets

Twenty-seven creole lambs with 25.05 ± 5.0 kg of initial live weight were used. Before the experiment, the lambs were dewormed (Closantel and Albendazole, 4.0 mL/lamb) and injected with vitamins (A, D, and E, 0.5 mL/lamb). They were randomly distributed in a completely randomised design in three dietary treatments (% dry matter): a) diet control with 70.4% of the amount of grain + molasses (G+M); b) diet with 1% Pr Ca with 62.5% of G+M; and c) diet with 1% of Pr Na and 62.5% of G + M. The lambs were housed in individual pens equipped with feeders and waterers, and they underwent an adaptation period of 10 days to the experimental diet. The experimental period lasted 42 days. The diet was offered two times a day (9:00 and 16:00). Propionate salts were obtained from Alimentaria Mexico Bekarem S.A. de C.V., Mexico. The experimental diets were formulated according to the requirements of the NRC (2007) (Table 1).

The experimental diets were analysed for dry matter (DM), ashes and total nitrogen (AOAC, 2005), neutral detergent fibre (NDF), and acid detergent fibre (ADF) using the methodology proposed by Van Soest *et al.* (1991). ME values

were estimated based on intake and weight gain using equations of net energy of the California system described by Osorio *et al.* (2015)

Productive response

Dry matter intake (DMI) was recorded daily by feed offered and rejected. The lambs were weighed every 14 days to estimate the average daily gain (ADG). Feed conversion was estimated from the ratio of DMI/ADG. On day 26 of the experiment, faeces were sampled during five consecutive days to estimate DM apparent digestibility using ashes insoluble acid as an internal marker (van Keulen and Young, 1977).

Ruminal fermentation

Fifty ml of ruminal fluid were sampled by an oesophageal probe in the preprandial conditions form of each lamb. Ruminal pH was recorded immediately with a portable potentiometer, and samples were acidified for further analyses. The volatile fatty acids (VFA) concentration was determined by gas chromatography in samples prepared with metaphosphoric acid (25% w/v) in a 4:1 ratio (Erwin *et al.*, 1961) using a Perkin Elmer Clarus 580 with a capillary column 30 m x 0.25 mm-x. 25µm (Agilent Technologies, model HP-FFAP) and nitrogen as a carrier gas. Ammonia nitrogen (NH₃N) was determined by the phenol hypochlorite method (McCullough, 1967), and lactate was determined by a spectrophotometer (Madrid *et al.*, 1999).

Carcass characteristics

At the end of the experiment (day 42), five animals per treatment were sacrificed to evaluate carcass characteristics. The pH was measured immediately (time 0 h) with a portable potentiometer equipped with a penetration electrode and automatic temperature compensation (Honikel, 1998). At 24 h, colour characteristics were recorded with tricomatic equipment (Hanna Instruments, model HI 99163). Backfat thickness was measured by a perpendicular incision of 4 cm in the back edge of the 10th second thoracic vertebra using a vernier. The water retention capacity was determined by loss of water by heat and pressure as described by Cañeque and Sanudo (2005).

In vitro gas production

Samples of the experimental diets were evaluated with the *in vitro* gas production technique (Theodorou *et al.*, 1994), recording pressure (kg/cm²) at 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 60, and 72 h after incubation. The volume of gas (Vo) and time of incubation (t) data obtained were used to calculate the maximum volume of gas produced (Vm), lag phase (L), and rate of production of gas (S) using the logistic model of Menke and Steingass (1988): $V_o = V_m / (1 + \exp(2 \cdot S \cdot (t - L)))$. At the end of the incubation of samples, contents were filtered to obtain residual DM and to estimate *in vitro* DM digestibility.

Statistical analysis

Results were analysed according to a completely randomised design with three treatments and nine replications (experimental units; lamb) using the JMP of SAS

(Sall *et al.*, 2012), and means were compared with the Tukey test with a significance level of 0.05.

Results

The partial replacement of grain with Pr Ca or Pr Na did not affect ($P > 0.05$) final weight, DMI, ADG, feed conversion, or apparent digestibility of DM (Table 2). Based on weight gain and intake, the estimated ME was $3.76 \text{ Mcal kg}^{-1}$ for Pr Ca and $3.60 \text{ Mcal kg}^{-1}$ for Pr Na.

There were no effects in the ruminal pH, ammonia nitrogen, total VFA concentration, or molar percentages, but ruminal lactate was higher with Pr Na, intermediate with Pr Ca, and lower with the control diet ($P = 0.01$) (Table 2). Propionate salts did not affect the carcass characteristics ($P > 0.05$) or water retention capacity (Table 3).

The incorporation of propionate salts reduced the rate of gas production ($P = 0.03$) without affecting the maximum volume of gas and the lag phase. Greater *in vitro* digestibility was observed in the control diet ($P = 0.003$), and *in vitro* digestibility was lower when Pr Na or Pr Ca was included (Table 4).

Discussion

The fact that inclusion of 1% of Pr Ca or Pr Na did not influence intake or performance is consistent with other experiments with lambs (Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016). There is a report with higher levels of Pr Na (5.6%) in which no hypophagic effects were reported (Berthelot *et al.*, 2001). The

performance data indicate that the energy values of propionate salts are similar. Based on intake and weight gain (Osorio *et al.*, 2015), the Pr Ca ME is 3.76 Mcal kg⁻¹ and the Pr Na ME is 3.6 Mcal kg⁻¹. The Pr Ca value is in agreement with the estimation of Mendoza *et al.* (2016), but the Pr Na value is higher than the extrapolated data from Berthelot *et al.* (2000).

Based on the energy ration in the control group, the lambs should gain 300 grams per day because it has more grain and molasses, but the ADG was below the expected value. Hernández *et al.* (2017) reported that lambs with diets with 60 or 70% of grain show the same weight gain despite the fact that the content of NEm and NEg which has been explained by a presumable subacute acidosis when diets include more than 70% of grain.

The results confirm that the addition of propionate salts up to 1% has no effect on propionate concentration, ruminal pH, and other indicators of fermentation, as observed in other experiments (Liu *et al.*, 2009; Mendoza *et al.*, 2016) although in some assays has been detected greater concentration of propionate (Lee-Rangel *et al.*, 2012), the rapid absorption of VFA in high-grain diets (Bannink *et al.*, 2016) can explain that additional propionate does not always allow the detection of the VFA and also the inclusion of the salts reduces the amount of fermentable carbohydrates from grains, which reduces the propionate derived from starch.

As expected, NH₃N was not affected by inclusion of propionate salts, in agreement with other experiments (El-Nor *et al.*, 2010; Mendoza *et al.* 2016). The largest concentration of lactate can be explained because reducing fermentable

carbohydrates promoted a minor population of bacteria that metabolise lactate, such as *Selenomonas rumiantium* (Mackie *et al.*, 1984) and *Megasphaera elsdenii* (Prabhua *et al.*, 2012).

Coinciding with other reports, propionate salts did not affect the carcass characteristics (Berthelot *et al.*, 2001; Lee-Rangel *et al.*, 2012; Mendoza *et al.*, 2016), and the values observed were similar to others reported in feedlot diets regarding pH (Obeidat *et al.*, 2008), colour (Felix *et al.*, 2012; Partida de la Peña *et al.*, 2013), and water-retention capacity (Obeidat *et al.*, 2008; Partida de la Peña *et al.*, 2013). An experiment with higher levels of Pr Na showed an increase in the proportion of odd-numbered fatty acids in the internal fat and subcutaneous (Berthelot *et al.*, 2001).

In one report of *in vitro* gas production, Pr Ca increased the lag phase without affecting other parameters (Miranda *et al.*, 2016), and in another the addition of Pr Ca increased *in vitro* gas production (Osorio *et al.*, 2017, article in press); in both cases, the substrates had less grain than the amount used in this evaluation. The interaction between grain by Pr Ca reported by Miranda *et al.* (2016) suggests that the response in the parameters of gas production will be affected by grain level and fermentability. *In vitro* DM digestibility was not reported in the studies cited, but the highest value in the control group is explained by the higher proportion of starch in the ration (Osorio *et al.*, 2017, article in press).

Conclusion

The results indicate that 1% of Pr Ca or Pr Na can substitute for 10% of grain in feedlot diets for lambs without changes in the productive response, ruminal fermentation, or carcass characteristics.

References

AOAC (2005) *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.

Bannink A, van Lingen HJ, Ellis JL, France J, Dijkstra J (2016) The contribution of mathematical modeling to understanding dynamic aspects of rumen metabolism. *Frontiers in Microbiology* **7**, 1-16. doi: 10.3389/fmicb.2016.01820

Berthelot V, Bas P, Schmidely P, Duvaux-Ponter C (2001) Effect of dietary propionate on intake patterns and fatty acid composition of adipose tissues in lambs. *Small Ruminant Research* **40**(1), 29–39. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00217-0

Berthelot V, Bas P, Schmidely P, Duvaux-Ponter, Sauvant D (2000). Effect of dietary propionate on fatty acid composition of lamb adipose tissues. In: Ledin I, Moran d-Fehr P (eds.). *Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands*. Zaragoza: CIHEAM, 2000. p. 133–135.

Cañeque V, Sañudo C (2005) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasas) en los rumiantes.,

(Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, INIA: Madrid).

El-Nor SA, AbuGhazaleh AA, Potu RB, Hastings D, Khattab MSA (2010) Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Animal Feed Science and Technology* **162**(3), 99–105. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.09.012

Erwin ES, Marco GJ, Emery EM (1961) Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal Dairy Science* **44**(9), 1768–1771. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6

Felix TL, Zerby HN, Moeller SJ, Loerch SC (2012) Effects of increasing dried distillers grains with solubles on performance, carcass characteristics, and digestibility of feedlot lambs. *Journal Animal Science* **90**(4), 1356–1363. doi: 10.2527/jas.2011-4373

Ferraro SM, Mendoza GD, Miranda LA, Gutiérrez CG (2009) *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology* **154**(1), 112–118. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2009.07.009

Hernández GPA, Mendoza MGD, Castro A, Lara A, Plata FX, Martínez JA, Ferraro S (2017) Effects of grain levels on lamb performance, ruminal metabolism and leptin mRNA expression in perirenal adipose tissue *Animal Production Science* AN15564, Accepted 10 July 2016.

- Honikel KO (1998) Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* **49**(4), 447–457. doi: 10.1016/S0309-1740(98)00034-5
- Lee-Rangel HA, Mendoza-Martínez GD, González-Muñoz SS (2012) Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb. *Animal Feed Science and Technology* **177**(3), 237–241. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.08.012
- Liu Q, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, Yang XM, He DC (2009) Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Journal Agricultural Science* **147**(02), 201–209. doi: 10.1017/S0021859609008429
- Mackie, RI, Gilchrist FMC, Heath S (1984) An *in vivo* study of ruminal microorganisms influencing lactate turnover and its contribution to volatile fatty acid production. *Journal Agricultural Science* **103**, 37–51.
- Madrid J, Martínez-Teruel A, Hernández F, Megías MD (1999) A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric, high-performance liquid chromatography and enzymatic methods. *Journal Science of Food Agriculture* **79**(12), 1722–1726. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1722::AID-JSFA427>3.0.CO;2-S
- Majdoub L, Vermorel M, Ortigues-Marty I (2003) Intraruminal propionate supplementation modifies hindlimb energy metabolism without changing the splanchnic release of glucose in growing lambs. *British Journal of Nutrition* **89**, 39–50. doi: 10.109/BJN2002740

- McCullough H (1967) The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clínica Chimica Acta* **17**(2), 297–304. doi: 10.1016/0009-8981(67)90133-7
- Mendoza MGD, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, Rojo-Rubio R, Relling A (2016) Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science* **56**(7), 1194–1198. doi: 10.1071/AN14824
- Menke KH, Steingass H (1988) Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and the *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* **28**(1), 7–55.
- Miranda LA, Lee RH, Mendoza MG, Crosby GM, Relling AE, Pinos RJ, Rojo RR, González HM (2016) Influence of calcium propionate on *in vitro* fermentation of sorghum-based diets. Rev. FCA UNCUIYO, ISSN impreso 0370–4661. ISSN (en línea), 1853–8665.
- NRC (National Research Council) (2007) *Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids*. Washington, DC: National Academy Press.
- Obeidat BS, Abdullah AY, Awawdeh MS, Kridli RT, Titi HH, Qudsieh RI (2008) Effect of methionine supplementation on performance and carcass characteristics of Awassi ram lambs fed finishing diets. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* **21**(6), 831. doi: 10.5713/ajas.2008.70536

- Osorio AI, Mendoza GD, Miranda RLA, Martínez GD, Hernández PA, Martínez GJA (2017) Effect of calcium propionate and monensin on *in vitro* digestibility and gas production. *Revista Brasileira de Zootecnia* (in press).
- Osorio AI, Mendoza GD, Plata PF, Martínez JA, Vargas L, Ortega GC (2015) A simulation model to predict body weight gain in lambs fed high-grain diets. *Small Ruminant Research* **123**, 246–250. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.12.004>
- Partida de la Peña JA, Braña Varela D, Jiménez Severiano H, Ríos Rincón FG, Buendía Rodríguez G (2013) *Producción de carne ovina*. Libro Técnico No. 5. ISBN: 978-607-37-0036-8. p. 116.
- Prabhua R, Altman E, Eiteman MA (2012) Lactate and acrylate metabolism by *Megasphaera elsdenii* under batch and steady-state conditions. *Applied and Environmental Microbiology* **78**(24), 8564–8570. doi: 10.1128/AEM.02443-12.
- Sall J, Lehman A, Stephens M, Creighton L (2012) *JMP® start statistics: a guide to statistics and data analysis*, 5th edn. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J (1994) A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* **48**(3), 185–197. doi: [10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)

Van Keulen J, Young BA (1977) Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal Animal Science* **44**(2), 282–287. doi:10.2527/jas1977.442282x

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* **74**, 3583–3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Table 1. Experimental diets and chemical composition

Pr Ca, Calcium propionate; Pr Na, Sodium propionate; DM, Dry matter; †Mineral premix, Ca 270 g, P 30 g, Na 0.65; ¨Propionic acid 780 g, Ca 220 g; ∞Propionic acid 800 g, Na 200 g.

	Inclusion of propionate, %		
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na
<i>Ingredients (% inclusion DM)</i>			
Corn, grain	31.9	16	16
Sorghum grain	32.5	35.5	35.5
Soybean meal	10.2	11.5	11.5
Cane molasses	6	11	11
Corn stover	17	22.5	22.5
Urea	1	1	1
Mineral premix †	0.7	0.5	0.5
Buffer	0.7	1	1
Pr Ca [¨]	0	1	0
Pr Na [∞]	0	0	1
<i>Chemical composition</i>			
Dry matter (%)	89.15	89.35	89.52
Ash (%)	4.73	5.96	6.2
Organic matter (%)	84.397	83.334	83.353
Crude protein (%)	16.00	17.40	17.65
Neutral detergent fibre (%)	14.670	18.019	17.893
Acid detergent fibre (%)	7.330	9.344	10.376

Table 2. Effect of addition of sodium propionate or calcium propionate on lamb performance and ruminal fermentation in feedlot diets

Pr Ca, Calcium propionate; Pr Na, Sodium propionate; SEM, Standard error of the mean; Means within row with different superscripts differ; P, Probability ($P < 0.05$).

	Inclusion of propionate, %			SEM	P
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na		
<i>Productive performance</i>					
Initial weight (kg)	24.82	25.06	25.25	1.73	0.98
Final weight (kg)	35.66	35.46	35.06	2.00	0.97
Dry matter intake (kg)	1.47	1.36	1.475	0.07	0.50
Average daily gain (kg)	0.25	0.24	0.23	0.02	0.72
Feed conversion	5.87	5.76	6.66	0.48	0.36
Digestibility (%)	80.18	80.80	83.77	1.07	0.05
<i>Ruminal variables</i>					
pH	6.99	6.99	7.00	0.06	0.99
Total VFA (mmol/L)	38.14	39.73	34.09	4.07	0.60
Acetic (%)	62.42	65.10	65.27	1.40	0.29
Propionic (%)	28.59	23.82	23.91	2.17	0.228
Butyric (%)	8.97	11.07	10.81	1.12	0.37
Ammonia nitrogen (mg/dL)	6.70	6.71	7.59	0.75	0.63
Lactate (mg/mL)	0.59 ^b	1.02 ^{ab}	1.64 ^a	0.23	0.01

Table 3. Effect of sodium propionate and calcium channel characteristics in lambs feedlot dietsPr Ca, Calcium propionate; Pr Na, Sodium propionate; SEM, Standard error of the mean; P, Probability ($P < 0.05$).

	Inclusion of propionate, %			SEM	P
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na		
Carcass weight (kg)	16.74	17.22	16.18	0.67	0.56
Carcass yield (%)	48.65	51.02	51.07	0.91	0.14
pH	6.51	6.45	6.58	0.06	0.42
Colour					
L*	24.23	23.89	24.99	1.25	0.82
a*	13.19	12.71	11.97	0.51	0.27
b*	6.44	6.23	6.36	0.31	0.91
Chroma	14.68	14.16	13.16	0.52	0.37
Hue	26.03	26.11	28.06	1.39	0.52
Backfat (cm)	0.89	0.80	0.91	0.07	0.56
Water loss by pressure (%)	25.43	24.61	27.77	0.96	0.96
Water loss by cooking (%)	41.00	39.85	39.83	0.60	0.35

Table 4. Effect of sodium propionate or calcium propionate on *in vitro* gas production

Pr Ca, Calcium propionate; Pr Na, Sodium propionate; SEM, Standard error of the mean; Means within row with different superscripts differ; P, Probability (P<0.05).

	Inclusion of propionate, %			SEM	P
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na		
Maximum volume of gas produced (mL g ⁻¹ MS)	196.86	186.73	190.86	3.05	0.13
Gas production rate (h ⁻¹)	0.064 ^a	0.059 ^{ab}	0.056 ^b	0.001	0.03
Lag phase (h)	1.56	1.20	0.82	0.16	0.05
<i>In vitro</i> DM digestibility	83.83 ^a	80.77 ^b	78.62 ^b	0.63	0.003



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí

Perspectivas y avances de la producción animal en México

Héctor Aarón
Lee Rangel
Hugo Magdaleno
Ramírez Tobías
José Alejandro
Roque Jiménez



PERSPECTIVAS Y AVANCES DE LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN MÉXICO

Héctor Aarón Lee Rangel
Hugo Magdaleno Ramírez Tobías
José Alejandro Roque Jiménez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Faculta de Agronomía y Veterinaria

Primera edición, 2016

ISBN 978-607-9453-73-2

D.R. © Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Álvaro Obregón 64 Colonia Centro. San Luis Potosí, SLP, México.
Editorial Universitaria Potosina

La información contenida en cada uno de los capítulos que conforman esta obra es responsabilidad exclusiva de sus autores.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	6
I. NUTRICIÓN Y MANEJO	7
DIGESTIBILIDAD APARENTE Y BALANCE DE NITRÓGENO DE OVINOS ALIMENTADOS CON <i>Leucaena leucocephala</i> Y NIVELES CRECIENTES DE <i>Manihot esculenta</i>	8
EFFECTO DEL NIVEL DE RESIDUO SECO DE CERVECERIA EN LA RACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CABRAS EN LACTACION AVANZADA ALIMENTADAS 2 y 4 VECES AL DIA	16
PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y HEMATOLÓGICOS DE VACAS SUPLEMENTADAS CON UNA MEZCLA DE MELAZA Y PASTA DE COCO	22
ENERGÍA DE LA CANAL Y SU RELACIÓN CON MEDICIONES POR ULTRASONIDO EN OVEJAS DE PELO	28
QUALITY AND FATTY ACID PROFILE OF MILK FROM COWS SUPPLEMENTED WITH SOYBEAN OIL IN THE DIET.....	35
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CANAL DE BECERROS FINALIZADOS CON TRES NIVELES DE UN PRECURSOR GLUCOGÉNICO	43
COMPOSICIÓN DE LA DIETA S DE CABRAS EN PASTOREO EN UN MATORRAL XEROFILO	52
EFFECTO DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y CÁSCARA DE NARANJA COMO REDUCTOR DE CORTISOL EN CORDEROS DE ENGORDA EN CONDICIONES DE ESTRÉS	59
PRODUCCIÓN DE CARNE Y LECHE EN BOVINOS SUPLEMENTADOS CON BLOQUES MULTINUTRICIONALES EN YUCATÁN.....	67
EFFECTO DEL CONSUMO DE BLOQUES MULTINUTRICIONALES SOBRE INDICADORES SANGUÍNEOS DEL METABOLISMO DE ENERGÍA Y PROTEÍNA EN BECERRAS EN CONDICIONES DE PASTOREO	73
ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO EN DIETA DE CABRAS LACTANTES DE LA COMARCA LAGUNERA: RESPUESTA EN CONSUMO DE MATERIA SECA, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE	81
RESPUESTA PRODUCTIVA DE CONEJOS SUPLEMENTADOS CON <i>Trichanthera gigantea</i> Y <i>Moringa oleífera</i>	87
EFFECTO EN LA ADICIÓN DE PROPIONATO DE CALCIO Y DE SODIO POR LA SUSTITUCIÓN DE GRANO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN FINALIZACIÓN	94
EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL Y DESTILADO DE MENTA (<i>MENTHA PIPERITA</i>) EN LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y LA PRODUCCIÓN DE METANO <i>IN VITRO</i>	102
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS ALIMENTADOS CON <i>Moringa oleífera</i> o <i>Trichanthera gigantea</i> BEHAVIOR PRODUCTIVE OF LAMBS FED <i>Moringa oleífera</i> or <i>Trichanthera gigantea</i>	109
PARAMETROS PRODUCTIVOS DE CARNE EN CABRAS ADULTAS ALIMENTADAS CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO PROTEGIDO EN LA DIETA.....	116
CRECIMIENTO, FINALIZACIÓN, CARACTERIZTICAS DE CANAL Y FERMENTACIÓN RUMINAL EN CORDEROS ALIMENTADOS CON DIETAS ALTAS EN GRANO.....	122

**EFFECTO EN LA ADICIÓN DE PROPIONATO DE CALCIO Y DE SODIO POR LA
SUSTITUCIÓN DE GRANO EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS
EN FINALIZACIÓN**

**EFFECT ON THE ADDITION OF CALCIUM PROPIONATE AND SODIUM BY
REPLACING GRAIN IN PRODUCTIVE BEHAVIOR OF FINISHING SHEEP**

Lucero A. Velázquez-Cruz¹, Pedro A. Hernández-García² Enrique Espinosa Ayala², Germán D.
Mendoza Martínez³, Héctor A. Lee Rangel⁴, Linda G. Bautista², Camilo Romero N²

¹*Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.*

²*Centro Universitario UAEM Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca, Estado de México. *pedro_abel@yahoo.com*

³*Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México.*

⁴*Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.*

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto en la sustitución del 20% de grano por 1% de propionato de calcio (Pr Ca) o de propionato de sodio (Pr Na) en una ración para corderos en finalización, considerando los aspectos del comportamiento productivo y fermentación ruminal. Se emplearon 27 ovinos machos criollos de 25.05 ± 5.0 fueron distribuidos aleatoriamente en un diseño de bloques completamente al azar, en tres tratamientos; una dieta testigo (0 g de PCa o PNa/kg MS) y una relación de 17:83 (F:C), y dos dietas con 1% (10 g de PCa o PNa/kg de MS) con una relación 22.5:77.5 (F:C). Los resultados mostraron que el uso de propionato de calcio y propionato de sodio en dietas mantiene las

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of replacing 20% of grain per 1% calcium propionate (Pr Ca) or sodium propionate (Pr Na) in a ration for lambs completion, considering the aspects of behavior production and ruminal fermentation. Creoles were 27 male sheep of 25.05 ± 5.0 were randomized block design in a completely random in three treatments were used; a diet witness (0 g of PCa or PNa/ kg DM) and a 17:83 ratio (F: C) and two diets with 1% (10 g of PCa or PNA / kg DM) with a relationship 22.5: 77.5 (F: C). The results showed that the use of calcium propionate and sodium propionate in diets maintaining productive variables as the final weight, feed intake, daily

variables productivas como el peso final, gain and feed conversion and digestibility consumo de alimento, ganancia diaria de peso bearing no significant differences at $P > 0.05$, y conversión alimenticia, así como likewise no effects between treatments in digestibilidad al no presentar diferencias ruminal variables such as pH and content of N-significativas con una $P > 0.05$, de igual manera NH_3 were found, whereas for lactate no se encontraron efectos entre los tratamientos significant difference ($P = 0.015$) was found, en cuanto a las variables ruminales como el pH however it was found that it can reduce the y contenido de N-NH_3 , mientras que para 20% of grain and get the same profit from a lactato se encontró diferencia significativa conventional diet.

($P=0.015$), sin embargo se encontró que se **Key words:** Sheeps, grains, gluconeogenic. puede reducir el 20% de grano y obtener las mismas ganancias de una dieta convencional.

Palabras clave: Ovinos, granos, gluconeogénicos.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción intensivos, las dietas son basadas principalmente en granos para maximizar los aportes energéticos del animal. Sin embargo se deben buscar alternativas de manejo nutricional con el fin de reducir pérdidas económicas (Mendoza *et al.* 2007, 2008), tal es el caso del uso de precursores gluconeogénicos, como glicerol adicionándolo en dietas de rumiantes, con la finalidad de reducir los niveles de granos en la ración (Abo El-Nor *et al.* 2010), tal es el caso del uso de propilenglicol evaluando los niveles de energía (Ferraro *et al.* 2009), así como, la adición de propionato de sodio (Berthelot *et al.* 2000) y propionato de calcio (Lee *et al.* 2012; Mendoza *et al.* 2016).

La adición de propionato en la dieta, se ha implementado principalmente con la finalidad de reducir los niveles de grano, sin modificar los niveles energéticos que requieren los rumiantes, debido a que el propionato es la principal fuente energética en estos, la suplementación de propionato mediante la alimentación, da lugar al aumento en la concentración de propionato en el rumen sin que se vean afectadas los valores de AGV (Liu *et al.* 2009), se ha comprobado que un aumento de la disponibilidad de precursores gluconeogénicos aumentará la producción de

glucosa (Bradford *et al.* 2006), donde el propionato podría ser utilizado para reemplazar parcialmente la energía suministrada por los granos implementados en las dietas de ovinos en finalización (Lee *et al.* 2012; Mendoza *et al.* 2016). Por lo tanto, el objetivo de este experimento fue evaluar el efecto en la sustitución del 20% de grano por 1% de propionato de calcio o de sodio en una ración para corderos en finalización, considerando los aspectos del comportamiento productivo y fermentación ruminal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones de la Posta Zootécnica del Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México. Además de ser conducido, bajo los lineamientos establecidos por el Comité Académico del Departamento de Ciencia Animal, de acuerdo con las regulaciones establecidas por la Ley de Protección Animal del Estado de México. Con una duración de 42 días, se emplearon 27 ovinos machos criollos de 25.05 ± 5.0 kg de peso vivo inicial, los cuales se desparasitaron (Closantel y Albendazol en una dosis de 4.0 ml/animal) y vitaminados (A, D y E en una dosis de 0.5 ml/animal), previo al inicio del experimento. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en un diseño de bloques completamente al azar, alojados en corraletas individuales equipadas con comederos y bebederos, donde recibieron un periodo de adaptación de 10 días a la dieta experimental, el cual se ofreció dos veces al día (9:00 y 16:00 h). Las dietas experimentales fueron formuladas siguiendo los requerimientos del NRC (2007), con una relación forraje: concentrado (F:C), 17:83, para la dieta con 0% (0 g de PCa o PNa/kg MS) y otras dos dietas que contenían 22.5:77.5 (F:C), para la inclusión de 10% (10 g de PCa o PNa/kg MS (Alimentaria Mexicana Bekarem S.A. de C.V., México) ,en la cual se redujo el 20% de grano (Cuadro 1). A la dieta experimental se le determinó su composición química; materia seca (MS), nitrógeno total (NT) (AOAC, 2005), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) empleando la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991). Los ovinos fueron pesados al inicio del experimento, posteriormente cada 14 días y al finalizar el experimento para así obtener la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento y conversión alimenticia. Al día 26 del experimento se colectaron heces de cada animal para determinar la digestibilidad de la materia seca, mediante la técnica de cenizas ácido insolubles (Van Keulen y Young, 1977), el día 42 del experimento se obtuvieron 50 ml de fluido ruminal mediante una sonda esofágica, de forma preprandial de cada cordero para determinar el efecto del

tratamiento sobre los parámetros de la fermentación del rumen, los cuales fueron, pH, así como también el contenido de N-NH₃, (McCullough, 1967) y lactato (Madrid *et al.* 1999).

Los resultados obtenidos fueron analizados siguiendo un diseño bloques completamente al azar, con tres tratamientos y 9 repeticiones, mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2002), la comparación de medias se realizó por la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de propionato de calcio y propionato de sodio implementado en dietas para ovinos en finalización no mejoró las variables productivas como son el peso final y el consumo de alimento, así como tampoco presentaron efectos las dietas con menor contenido de granos en la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia, lo que concuerda con lo reportado por Berthelot *et al.* (2000), Lee *et al.* (2012), y Mendoza *et al.* (2016) al implementar concentraciones bajas de Pr Ca, a diferencia de dietas con concentraciones altas de propionato donde los animales pueden llegar a presentar hipofagia (Oba y Allen, 2003), la digestibilidad de igual manera no tuvo diferencias significativas (Cuadro 2). No se presentaron efectos entre los tratamientos en cuanto a las variables ruminales como son el pH, resultado similar con lo reportado por Lee *et al.* (2012), así como de nitrógeno amoniacal ($P > 0.05$), sin embargo, se encontró diferencia significativa en lactato ($P = 0.015$) con un mayor porcentaje en la dieta con la adición de Pr Na, seguida por la dieta con Pr Ca (Cuadro 2).

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química

	Inclusión de propionato %		
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na
<i>Ingredientes (% inclusión de la MS)</i>			
Maíz, grano	31.9	16	16
Sorgo, grano	32.5	35.5	35.5
Soya, pasta	10.2	11.5	11.5
Melaza	6	11	11
Maíz, rastrojo	17	22.5	22.5

Urea	1	1	1
Premezcla mineral [†]	0.7	0.5	0.5
Buffer	0.7	1	1
Pr Ca [□]	0	1	0
Pr Na [∞]	0	0	1
TOTAL	100	100	100
<i>Composición química</i>			
Materia Seca (%)	89.15	89.35	89.52
Proteína Cruda (%)	16.00	17.40	17.65
Fibra Detergente Neutro (%)	14.97	19.42	17.67
Fibra Detergente Acido (%)	7.49	10.82	10.18
Pr Ca, Propionato de Calcio; Pr Na, Propionato de Sodio; MS, Materia Seca; [†] Premezcla mineral, Ca 270 g, P 30 g, Na 0.65; [□] Ácido propionico 780 g, Ca 220 g; [∞] Ácido propionico 800 g, Na 200 g.			

Cuadro 2. Efecto de la adición de propionato de sodio y calcio en el comportamiento productivo y variables ruminales de ovinos en finalización

	Inclusión de propionato, %			EEM	P
	0	1 Pr Ca	1 Pr Na		
<i>Comportamiento productivo</i>					
Peso inicial, kg	24.82	25.06	25.26	1.73	0.98
Peso final, kg	35.66	35.46	35.07	2.00	0.97
Consumo de Alimento, kg	1.47	1.36	1.45	0.07	0.50
Ganancia diaria de peso, kg	0.25	0.247	0.23	0.02	0.72
Conversión alimenticia	5.87	5.76	6.67	0.48	0.36
Digestibilidad, %	80.18	80.80	83.75	1.07	0.06
<i>Variables ruminales</i>					

pH	6.99	6.99	7.02	0.06	0.99
NH ₃ , mg/dL	6.70	6.71	7.59	0.75	0.63
Lactato, mg/ml	0.59 ^b	1.02 ^{abAB}	1.64 ^a	0.23	0.015

Pr Ca, Propionato de calcio; Pr Na, Propionato de sodio; EEM, error estándar de la media; P, probabilidad (P<0.05).

CONCLUSIÓN

La adición de propionato de calcio y de propionato de sodio por la sustitución de grano en dietas para ovinos en finalización no modifica las variables productivas, sin embargo, se encontró que se puede reducir el 20% de grano y obtener las mismas ganancias de una dieta convencional, sin modificar las variables ruminales como son el pH y el NH₃.

REFERENCIAS

- Abo El-Nor, S., AbuGhazaleh, A. A., Potu, R. B., Hastings, D. y Khattab, M. S. A. (2010). Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Animal Feed Science and Technology*, 162(3), 99-105.
- Anil, M. H. y Forbes, J. M. 1988. The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 73(4), 539-546.
- AOAC International. 2005. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
- Berthelot V., Bas P., Schmidely P., Duvaux-Ponter C., y Sauvant D. (2000). Effect of dietary propionate on fatty acid composition of lamb adipose tissues. *Cahiers Options Méditerranéennes*. 52,133-135.
- Bradford, J. B. Gour, D. A., Nash, S. A. y Allen, S. M. 2006. Propionate challenge tests have limited value for investigating bovine metabolism. *The Journal of nutrition*. 136(7), 1915–1920.
- Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., y Gutiérrez, C. G. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 154(1), 112-118.

- Lee-Rangel, H. A., Mendoza-Martínez, G. D., y González-Muñoz, S. S. 2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb. *Animal Feed Science and Technology*, 177(3), 237-241.
- Liu, Q., Wang, C., Guo, G., Yang, W. Z., Dong, K. H., Huang, Y. X., Yang, X. M., y He, D. C. 2009. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *The Journal of Agricultural Science*, 147(02), 201-209.
- Madrid, J., Martínez-Teruel, A., Hernández, F., y Megías, M. D. 1999. A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric, high-performance liquid chromatography and enzymatic methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1722-1726.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clínica química acta*, 17(2), 297-304.
- Mendoza Martínez, G. D., Plata Pérez, F. X., Ramírez Mella, M., Mejía Delgadillo, M. A., Lee Rangel, H., y Bárcena Gama, R. 2007. Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica*, 17(1), 66-72.
- Mendoza-Martínez, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., Hernández-García, P. A., Rojo-Rubio, R., y Relling, A. 2016. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 56(7), 1194-1198.
- Mendoza-Martínez, G. D., Plata-Pérez, F. X., Espinosa-Cervantes, R., y Lara-Bueno, A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y ciencia*, 24(1), 75-87.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants. Sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washintong, DC: National Academy Press.
- Oba, M., y Allen, M. S. 2003. Extent of hypophagia caused by propionate infusion is related to plasma glucose concentration in lactating dairy cows. *The Journal of nutrition*, 133:1005-1112.
- SAS. Statistical Analysis Sistem. 2002. User's guide: Statistical version 9.00. Cary, NC: SAS Inst. Inc.

- Van Keulen, J., y Young B. A. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *The Journal of Dairy Science*, 74, 3583–3597.

8. CONCLUSIONES GENERALES

La adición de Pr Ca y Pr Na mantiene las variables productivas como peso final, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, de igual manera la digestibilidad no fue afectada, por lo tanto, se concluye que se puede sustituir el 10% de grano en dietas para ovinos en finalización por 1% de estos gluconeogénicos, lo cual permite seguir empleando estos aditivos para futuras investigaciones.

Por otra parte no se encontraron cambios entre los tratamientos en cuanto a las variables ruminales como son el pH, ácidos grasos volátiles totales, ácido acético, butírico y propiónico, así como de nitrógeno amoniacal, sin embargo, se encontró diferencia en lactato, lo cual se atribuye a la adición de este gluconeogénico, debido a que el lactato es un subproducto derivado de los microorganismos ruminales y una parte es sintetizado en la pared ruminal a partir del ácido propiónico absorbido, por lo que al incrementar la concentración de propionato en el rumen, se eleva la concentración de lactato ruminal.

Se mantuvo el nivel de producción sin afectar las características de la canal, como el peso, rendimiento verdadero, pH, color (L^* , a^* , b^* , Croma y Hue), y la capacidad de retención de agua, situación que indica que al incluir un aditivo como el propionato en la dieta la jugosidad de la carne se conserva. Al no presentar cambios en la respuesta productiva y obtener las mismas ganancias que en una dieta a base de granos, hace de este gluconeogénico una alternativa para remplazar parcialmente la inclusión de granos en las raciones de rumiantes.

9. SUGERENCIAS

Continuar realizando investigación científica acerca de este gluconeogénico con diferentes niveles de inclusión, además de buscar reducir más del 10% de los granos en dietas para ovinos en finalización.

Realizar un análisis económico entorno a la alimentación de ovinos en finalización con la inclusión de Pr Ca y Pr Na, debido a que el precio de este gluconeogénico es elevado, así como buscar alternativas económicas para su uso.

10. LITERATURA CITADA

- Ahring, B. K., Sandberg, M. y Angelidaki, I. (1995). Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestors. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 43(3), 559-565.
- Anil, M. H. y J. M. Forbes. (1988). The roles of hepatic nerves in the reduction of food intake as a consequence of intraportal sodium propionate administration in sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 73(4), 539-546.
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Aschenbach, J. R., Kristensen, N. B., Donkin, S. S., Hammon, H. M., y Penner, G. B. (2010). Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB life*, 62(12), 869-877.
- Beever, D. E. (1993). Ruminant animal production from forages—present position and future opportunities. M. Baker M. (Eded.) *Grassland for our World*. SIR Publishing, Wellington.
- Bergman, E.N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*. 70(2), 567-590.
- Berthelot V, Bas P, Schmidely P, Duvaux-Ponter C (2001) Effect of dietary propionate on intake patterns and fatty acid composition of adipose tissues in lambs. *Small Ruminant Research* 40(1), 29-39.
- Bradford, B. J., Gour, A. D., Nash, A. S., y Allen, M. S. (2006). Propionate challenge tests have limited value for investigating bovine metabolism. *The Journal of nutrition*, 136(7), 1915-1920.

- Bradford, B. J., y Allen, M. S. (2007). Phlorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. *The Journal of nutrition*, 137(2), 326-330.
- Cañeque V, Sañudo C (2000) *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes* (No. Q04 INIA 17174). Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid (España). Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)
- Cañeque, V., y Sañudo, C. (2005). *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa en los rumiantes)*. Madrid, España: MICYTINIA: Ganadera. 3.
- Christophersen, C. T., Wright, A. D., y Vercoe, P. E. (2008). In vitro methane emission and acetate: propionate ratio are decreased when artificial stimulation of the rumen wall is combined with increasing grain diets in sheep. *Journal of animal science*, 86(2), 384-389.
- Church, D.C. 1989. *The Ruminant Animal*. O&B Books, NJ. Church, D. C. (1988). *The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall.
- Church, D.C., Pond, W.G. y Pond, K.R. (2002). *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales* (pp. 635). 2da Edición. Ciudad de México, México: Ed. Uteha Wiley.
- Cole, N. A., y Hallford, D. M. (1994). Influence of a propionate load in fed or unfed lambs on blood metabolites and hormone patterns. *Journal of animal science*, 72(8), 2141-2148.
- Correal, E. y Sotomayor, J.A. (1998). Sistemas ovino-cereal y su repercusión sobre el medio natural. *CIDA. Pastos*. 28(2), 137-180.
- De Lucas T. J., Zarco Q. L. A., González P. E., Tórtora P. J., Villa-Godoy A., Vásquez P. C. (2003). Crecimiento predestete de corderos en sistemas intensivos de pastoreo y manejo reproductivo en el altiplano central de México. *Vet Méx*. 34(3), 235-245.

- Drackley, J. K., Overton, T. R., y Douglas, G. N. (2001). Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 84, E100-E112.
- El-Nor, S. A., AbuGhazaleh, A. A., Potu, R. B., Hastings, D., y Khattab, M. S. A. (2010). Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Animal Feed Science and Technology*, 162(3), 99-105.
- Erwin, E. S., Marco, G. J., & Emery, E. M. (1961). Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of dairy science*, 44(9), 1768-1771.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. (2015). *Precios al productor de los cinco principales productores de maíz, del año 2000 al 2013*. Consultado el 10/11/2015. Disponible en línea en: http://faostat3.fao.org/browse/P/*/S
- Ferraro, S.M., Mendoza, G.D., Miranda, L.A. y Gutiérrez, C.G. (2009). *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154(1),112-118.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2014a. *Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación Económica y Sectorial, Subdirección de Investigación Económica. Maíz 2014*. Consultado el 10/06/2015. Disponible en línea en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2014b. *Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación Económica y Sectorial, Subdirección de Investigación Económica. Sorgo 2014*. Consultado el 10/06/2015. Disponible en línea en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- France, J. y Dijkstra, J. (2005). Volatile Fatty Acid Production. In: J. Dijkstra, J.M. Forbes and J. France, *Quantitative Aspects of ruminant digestion and metabolism* (pp. 716). 2da Edition: CAB International.

- Guada, J. A. (1993). Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria de Zaragoza. IX Curso de especialización FEDNA. Pp. 14.
- Guerra, G. E. H. (2011). *Influencia de dos niveles de almidón en la dieta sobre la producción de metano de cabras murciano-granadinas en lactación*. Tesis de Máster en Producción Animal. Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 23.
- Hall, M. (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza*. FAO y Banco Mundial. Roma y Washington DC. Pp. 483. Consultado el 11/08/15. Disponible en línea: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y1860s/y1860s.pdf>
- Herrera-Saldana, R., y Huber, J. T. (1989). Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 72(6), 1477-1483.
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat science*, 49(4), 447-457.
- Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of animal science*, 75(3), 852-867.
- Huntington, G. B., Harmon, D. L., y Richards, C. J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84, E14-E24.
- Jarrige, J. (1990). Ingestión y digestión de los alimentos. En: J. Jarrige. *Alimentación de bovinos ovinos y caprinos* (pp, 29-53). Ediciones Mundi-Prensa.
- Kotarski, S. F., Waniska, R. D., y Thurn, K. K. (1992). Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *The Journal of nutrition*, 122(1), 178.
- Lana, R. P., Russell, J. B., y Van Amburgh, M. E. (1998). The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *Journal of animal science*, 76(8), 2190-2196.

- Lascano, C. E. (2002). Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 10(2), 126-132.
- Lee, R.H.A. 2011. *Utilización de propionato de calcio en ovinos*. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Pp. 55.
- Lee, R.H.A., Mendoza-Martínez, G.D., y González-Muñoz, S.S. (2012). Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb. *Animal Feed Science and Technology*. 177, 237:241.
- Lee, S. H., y Hossner, K. L. (2002). Coordinate regulation of ovine adipose tissue gene expression by propionate. *Journal of animal science*, 80(11), 2840-2849.
- Liu, Q., Wang, C., Guo, G., Yang, W. Z., Dong, K. H., Huang, Y. X., He, D. C. (2009). Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *The Journal of Agricultural Science*, 147(02), 201-209.
- Macedo, R., y Alvarado A. (2005). Efecto de la época de monta sobre la productividad de ovejas Pelibuey bajo dos sistemas de alimentación en Colima, México. *Arch. Zootec.* 54, 51-62.
- Macedo, R., y Castellanos, Y. (2004). Rentabilidad de un sistema intensivo de producción ovino en el trópico. *Avances en investigación agropecuaria*. 8(3), 0188-7890.
- Madrid, J., Martínez-Teruel, A., Hernández, F., & Megías, M. D. (1999). A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric, high-performance liquid chromatography and enzymatic methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1722-1726.
- Martini, F. H., y Baile, C. A. (1972). Feed Intake of Goats and Sheep Following Acetate or Propionate Injections into Rumen, Ruminal Pouches, and Abomasum as Affected by local Anesthetics. *J. Dairy Sci.* 55(5), 606-613.

- Mayes, P. A. (2001). Gluconeogénesis y control de la glucosa sanguínea. En: Murray, R.K., Mayes, P.A., Granner, D.K. y Rodwell, V.W. *Bioquímica de Harper* (pp, 243-254). Manual Moderno. 15ª edición.
- McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clínica chimica acta*, 17(2), 297-304.
- McDonald, P., Edwards, R., y Greenhalgh, J. E. D. (1993). *Nutrición animal* (Pp:571). 4a Edición. España: Ed. Acribia.
- Medrano, J. A. (2000). Recursos animales locales del centro de México. *Arch. Zootec.* 49(187), 385-390.
- Mendoza, M. G. D., Plata, P. F. X., Ramírez M. M., Mejía D. M. A., Lee R. H. A., y Bárcena G. R. (2007). Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica, FCV-LUZ.* 17(1), 66 – 72.
- Mendoza, M. G. D., y Ricalde V. R. (2017). *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en granos*. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México: Libros de Texto.
- Mendoza-Martínez, G. D., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., Hernández-García, P. A., Rojo-Rubio, R., y Relling, A. (2016). Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 56(7), 1194-1198.
- Mendoza-Martínez, G. D., Plata-Pérez, F. X., Espinosa-Cervantes, R., y Lara-Bueno, A. (2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y ciencia*, 24(1), 75-87.
- Menke, K. H., y Steingass, H. (1988) Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and the *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Developmen* 28(1), 7-55.
- Mora- Jaimes, G., Bárcena-Gama, R., Mendoza-Martínez, G. D., González-Muñoz, S. S., y Herrera-Haro, J. G. (2002). Performance and ruminal fermentation in lambs fed sorghum grain treated with amylases. *Agrociencia* 36(1), 31-39.

- Moss, A. R., Jouany, J.P., y Newbold, J. (2000). INRA EDP Sciences. *Annales Zootechnie*. 49, 231-253.
- Noro, M., y Wittwer, F. (2012). Interrelaciones entre ureagénesis y gluconeogénesis hepática en rumiantes alimentados con elevado contenido de nitrógeno. *Vet. Méx.* 43(2), 143-154.
- Nuncio, O. G., Nahed, T. J., Díaz, H. B., Escobedo, A. F., y Salvatierra, I. B. (2000). Caracterización de los sistemas de producción ovina en el estado de Tabasco. *Agrociencia* 35(4), 469-477.
- Ordóñez, C. O. H., Miguel, C. T., Piñeiro, E. G., Fernandez, N. F., y Monforte, C. D. (2007). El propilenglicol mejora los resultados de la transferencia de embriones. *Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*, (4), 33-37.
- Ortega, C. M. E., y Mendoza, M. G. D. (2003). Starch digestion and glucose metabolism in the ruminant: a review. *Interciencia*. 28(7), 380-386.
- Partida de la Peña JA, Braña Varela D, Jiménez Severiano H, Ríos Rincón FG, Buendía Rodríguez G (2013) Producción de carne ovina. Libro Técnico No. 5. ISBN: 978-607-37-0036-8. Pp: 116.
- Pérez, H. P., Vilaboa, A. J., Chalate, M. H., Candelaria, M. B., Díaz, R. P., y López, O. S. (2011). Análisis descriptivo de los sistemas de producción con ovinos en el estado de Veracruz, México. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 21(4), 327-334.
- Quigley, J. D., y Heitmann, R. N. (1991). Effects of propionate infusion and dietary energy on dry matter intake in sheep. *Journal of animal science*, 69(3), 1178-1187.
- Relling, A. E., y Mattioli, G. A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. *Argentina: UNLP Editorial Edulp*, 23-55.
- Rojo, R. R., Mendoza, M. G. D., Montañez, V. O. D., Rebollar, R. S., Cardoso, J. D., Hernández, M. J., y González, R. F. J. (2007). Enzimas amilolíticas

- exógenas en la alimentación de rumiantes. *Universidad y Ciencia*. 23(2), 173-182.
- Rusell, R. y Gahr, J. (2000). *Farm animal metabolism and nutrition* (pp, 438). Nueva York, EE.UU.AA.: CABI Publishing.
- Russell, J. B., O'connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., y Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3551-3561.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2015). *Estimación de la demanda de insumos alimenticios para la ganadera 2002-2007*. Pp: 1. Consultado el 27/05/2015. Disponible en línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Estadisticas/Lists/Estadsticas/Attachments/13/Estimaci%C3%B3n%20de%20la%20demanda%20de%20insumos%20alimenticios%20para%20la%20ganadera%202002-2007%20Granos%20forrajeros.pdf>
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2013). DECRETO por el que se aprueba el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. PP: 64. Consultado en noviembre del 2015. Disponible en línea: [http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/2015/MANUALES%20Y%20PLANES/Programa_Sectorial_SAGARPA_2013-2018%20\(1\).pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/2015/MANUALES%20Y%20PLANES/Programa_Sectorial_SAGARPA_2013-2018%20(1).pdf)
- Sall J, Lehman A, Stephens M, Creighton L (2012) 'JMP® Start Statistics: A Guide to Statistics and Data Analysis', 5th edn. (SAS Institute Inc: Cary, NC, USA).
- Sánchez, C. (2001). Estrategias para la engorda de corderos en corrales. *La Revista del Borrego*. 2(9), 10-11.
- Sano, H., Hattori, N., Todome, Y., Tsuruoka, J., Takahashi, H., y Terashima, Y. (1993). Plasma insulin and glucagon responses to intravenous infusion of propionate and their autonomic control in sheep. *Journal of animal science*, 71(12), 3414-3422.

- Seal, C. J., y Reynolds, C. K. (1993). Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutrition Research Reviews*, 6(01), 185-208.
- Sere, C., y Steinfeld, H. (1996). *World livestock production systems*. FAO. Consultado el 05/01/15. Disponible en línea: http://www.fao.org/ag/againinfo/programmes/es/lead/toolbox/Paper127/cove_r1.htm
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., y France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 48(3), 185-197.
- Van Houtert, M. F. J., Nolan J. V., y Leng, R. A. (1993). Protein, acetate and propionate for roughage-fed lambs. 2 nutrient kinetics. *Animal Production*. 56(03), 369-378.
- Van Keulen, J., y Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca. 463.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.
- Veenhuizen, J. J., Russell, R. w., y Young, J. W. (1988). Kinetics of Metabolism of Glucose, Propionate and CO₂ in Steers as Affected by Injecting Phlorizin and Feeding Propionate. *J. Nutr.* 118(11), 1366-1375.
- Vilaboa, A. J., Díaz, R. P., Platas, R. D. E., Ortega, J. E. y Rodríguez, C. M. A. (2006). Productividad y autonomía en sistemas de producción ovina: dos propiedades emergentes de los agroecosistemas. *Interciencia*. 31(1), 37-44.

- Villalba, J. J., y Provenza, F. D. (1997a). Preference for wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of starch. *British Journal of Nutrition*, 77(2), 287-297.
- Villalba, J. J., y Provenza, F. D. (1997b). Preference for flavored wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of acetate and propionate. *Journal of Animal Science*, 75(11), 2905-2914.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., y Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat science*, 66(1), 21-32.
- Zorzano, A. (1991). *Gluconeogénesis*. En: Bioquímica, Aspectos estructurales y vías metabólicas. Interamericana McGraw Hill. 2da Edición. Vol. 1. Pp: 473-499.